C 5-38

MINISTÉRIO DA DEFESA

EXÉRCITO BRASILEIRO

ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO

Manual de Campanha

ESTRADAS

1ª Edição
2001

C 5-38

MINISTÉRIO DA DEFESA

EXÉRCITO BRASILEIRO

ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO

Manual de Campanha

ESTRADAS

1ª Edição
2001

Preço: R$

CARGA
EM.................

PORTARIA Nº 149-EME, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2001

Aprova o Manual de Campanha C 5-38 - Estradas, 1ª Edição, 2001.

O CHEFE DO ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO, no uso das atribuições que lhe confere o art. 91, da Portaria nº 433, de 24 de agosto de 1994 (IG 10-42), resolve:

Art. 1º Aprovar o Manual de Campanha **C 5-38 - ESTRADAS**, 1ª Edição, 2001, que com esta baixa.

Art. 2º Determinar que esta Portaria entre em vigor na data de sua publicação.

Gen Ex MARCELLO RUFINO DOS SANTOS
Chefe do Estado-Maior do Exército

NOTA

Solicita-se aos usuários deste manual a apresentação de sugestões que tenham por objetivo aperfeiçoá-lo ou que se destinem à supressão de eventuais incorreções.

As observações apresentadas, mencionando a página, o parágrafo e a linha do texto a que se referem, devem conter comentários apropriados para seu entendimento ou sua justificação.

A correspondência deve ser enviada diretamente ao EME, de acordo com o artigo 78 das IG 10-42 - INSTRUÇÕES GERAIS PARA CORRESPONDÊNCIA, PUBLICAÇÕES E ATOS NORMATIVOS NO MINISTÉRIO DO EXÉRCITO.

ÍNDICE DOS ASSUNTOS

		Prf	Pag
CAPÍTULO	**1 - INTRODUÇÃO**	1-1 a 1-4	1-1
CAPÍTULO	**2 - ESTRADAS - CONCEITOS GERAIS**	2-1 e 2-2	2-1
CAPÍTULO	**3 - CONSERVAÇÃO, REPARAÇÃO E MELHORAMENTO DAS ESTRADAS**	3-1 a 3-6	3-1
CAPÍTULO	**4 - TRABALHO DE CONSTRUÇÃO DAS ESTRADAS**		
ARTIGO	**I** - Introdução	4-1	4-1
ARTIGO	**II** - Solos	4-2 a 4-9	4-2
ARTIGO	**III** - Compactação de Solos	4-10 e 4-11	4-9
CAPÍTULO	**5 - DRENAGEM**		
ARTIGO	**I** - Generalidades	5-1 e 5-2	5-1
ARTIGO	**II** - Drenagem Superficial	5-3 a 5-14	5-2
ARTIGO	**III** - Drenagem Subterrânea ou Profunda	5-15 a 5-21	5-14
ARTIGO	**IV** - Drenagem de Transposição de Talvegues (Bueiros)	5-22 a 5-25	5-24

		Prf	Pag
CAPÍTULO	**6 - TERRAPLANAGEM**		
ARTIGO	**I** - Introdução	6-1 e 6-2	6-1
ARTIGO	**II** - Estudo dos Materiais de Superfície	6-3 e 6-4	6-2
ARTIGO	**III** - Execução da Terraplanagem	6-5 a 6-10	6-3
ARTIGO	**IV** - Equipamentos de Terraplanagem............	6-11 a 6-16	6-10
CAPÍTULO	**7 - CORTES ....**	7-1 a 7-7	7-1
CAPÍTULO	**8 - ATERROS ....**	8-1 a 8-7	8-1
CAPÍTULO	**9 - TRAFEGABILIDADE DOS SOLOS**		
ARTIGO	**I** - Introdução	9-1 a 9-3	9-1
ARTIGO	**II** - Instrumento e Testes para medidas de Trafegabilidade	9-4 a 9-7	9-3
ARTIGO	**III** - Métodos e Critérios para Medição da Trafegabilidade	9-8 a 9-14	9-10

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1-1. GENERALIDADES

a. Manter em condições de tráfego as vias de transportes terrestres existentes ou a sua construção quando não existirem é a essência da mobilidade, missão doutrinária da Arma de Engenharia.

b. A rede rodoviária necessária para atender às necessidades logísticas e operacionais impostas pela manobra é selecionada pelo Grande Comando (G Cmdo) ou Grande Unidade (GU), por ela responsável. De qualquer maneira, é importante lembrar que a utilização imediata dos trabalhos deve, normalmente, ser observada. A Engenharia dos vários escalões executa os trabalhos, dentro das suas possibilidades e necessidades, para atender à determinada operação com limites muito bem definidos no tempo e no espaço, conforme definido no C 5-1 - Emprego da Engenharia - 1999.

c. Os trabalhos de estradas consistem na construção, conservação e reparação de rodovias, melhoramentos de pistas e estradas e balizamento e melhoramento de vaus.

d. Nos trabalhos de estradas, além do princípio da utilização imediata dos trabalhos, destaca-se a característica da progressividade dos trabalhos. Ressalta-se, ainda, a máxima utilização dos recursos locais.

e. Pela grande importância de que se reveste o assunto, torna-se necessária a existência de uma fonte de informações e consulta comuns para a tropa, padronizando conhecimentos e procedimentos, voltada para os elementos responsáveis pela coordenação e execução dos trabalhos.

1-2. FINALIDADE

Este manual destina-se a apresentar as informações necessárias para o planejamento, execução e manutenção dos trabalhos de estradas no TO, particularmente na Zona de Combate (Z Cmb). Visa, também, padronizar conhecimentos e procedimentos, sem a pretensão de esgotar quaisquer dos assuntos tratados, visto serem todos de grande complexidade e extensão. Desta forma pretende, tão somente, servir de diretriz básica para o desenvolvimento dos conhecimentos necessários aos militares da Arma de Engenharia.

1-3. OBJETIVO

Apresentar os trabalhos técnicos de estradas a serem executados pelas unidades de engenharia, nos escalões brigada (Bda), divisão de exército (DE) e exército de campanha (Ex Cmp).

1-4. RESPONSABILIDADES

a. Uma Organização Militar de Engenharia (OM Eng) é responsável por todos os trabalhos de estradas na zona de ação (Z Aç) do escalão a que pertence, mesmo quando contar com o apoio do escalão superior. Dessa forma, os trabalhos realizados pelo elemento de Eng do escalão superior (Esc Sp), em apoio suplementar, por área ou específico, são planejados, supervisionados e controlados pelo comandante da Eng que recebe o apoio. A Eng de um Esc Sp pode apoiar a Eng do escalão subordinado, realizando trabalhos de estradas em sua Z Aç.

b. Os BEC, os BE Cnst, as Cia E Cam Bas e as Cia Eqp E são as OM Eng empregadas em trabalhos de estradas. É possível que sejam reforçadas por mão-de-obra civil.

c. A Eng é responsável, também, por todas as construções militares na Z Cmb, exceto as comunicações e os trabalhos de organização do terreno de responsabilidade de todas as armas, serviço e quadro. Assim, guarda a responsabilidade pela conservação e reparação de todas as instalações militares e pela operação dos serviços necessários a essas instalações (água, luz, esgotos).

e. Como assessor técnico do comandante, o engenheiro deve, a qualquer momento, estar em condições de informá-lo sobre a capacidade e condições de utilização das estradas e sobre os meios necessários à execução dos trabalhos. Para isso deve acionar os reconhecimentos cabíveis.

CAPÍTULO 2

ESTRADAS – CONCEITOS GERAIS

2-1. DEFINIÇÕES BÁSICAS

a. Estrada - É um caminho utilizado por veículos, homens e animais. Designa-se genericamente de estrada a via usada pelo veículo terrestre, diferenciando-se a estrada de rodagem, ou rodovia, para os automóveis, e a estrada de ferro, ou ferrovia, para o veículo ferroviário.

b. Perfil Longitudinal - é a projeção num plano vertical dos pontos obtidos quando interceptamos verticalmente a estrada ao longo do seu eixo.

c. Greide - é o eixo central de uma estrada caracterizado pelas cotas dos pontos médios de suas seções transversais.

d. Largura da rodovia - A largura de uma rodovia, incluindo as larguras das pontes, túneis e outras restrições, é a menor largura da pista, expressa em metros.

e. Pista - é toda a superfície da estrada destinada à movimentação normal dos veículos.

f. Faixa de Tráfego ou de Rolamento - é a porção longitudinal (faixa) da pista destinada à movimentação de um único veículo. A largura média de uma faixa de tráfego necessária ao movimento de uma coluna é de 3,5 metros para viaturas sobre rodas e 4 (quatro) metros para viaturas sobre lagartas.

g. Rodovia de fluxo simples - uma rodovia de fluxo simples é a que permite o deslocamento de uma coluna de viaturas em um sentido e, ainda, permite a ultrapassagem de viaturas isoladas no mesmo sentido ou em sentido contrário, em determinados trechos. É desejável que a largura da estrada (rodovia) de fluxo simples seja igual a 1,5 vezes a largura de uma faixa de tráfego;

h. Rodovia de fluxo duplo - A rodovia é de fluxo duplo quando permite o deslocamento de duas colunas de viaturas em um sentido ou em sentidos opostos. É essencial que a largura da estrada (rodovia) seja igual a duas faixas de tráfego, no mínimo.

i. Estrada penetrante - É aquela cuja orientação geral é perpendicular à linha de frente.

j. Estrada transversal - É aquela que, de um modo geral, é paralela à linha de frente.

l. Estrada Principal de Suprimento (EPS) - É uma estrada designada como via principal de tráfego para um determinado escalão, visando por ali atender ao grosso do apoio em suprimento a seus elementos subordinados. A EPS, normalmente, é uma estrada penetrante.

m. Classe de rodovia - A classe de uma rodovia é, normalmente, a menor classe das pontes existentes nessa rodovia. Quando não existirem pontes, a classe é dada pelo pior trecho da rodovia.

n. Restrições - São consideradas como restrições, quaisquer fatores que restrinjam o tipo, a capacidade de tráfego ou a velocidade de deslocamento em uma estrada. Constituem restrições:

(1) rampas com inclinação igual ou superior a 7%;
(2) curvas com raios menores do que 30 m;
(3) existência de balsas;
(4) vaus;
(5) redução na largura das pistas;
(6) gabaritos menores que 4,3 m em pontes, túneis, rios e passagens sob estruturas diversas;
(7) classe das pontes.

2-2. CAPACIDADE DAS VIAS DE TRANSPORTE

O assunto está tratado no Manual C 5-36 - RECONHECIMENTO DE ENGENHARIA.

CAPÍTULO 3

CONSERVAÇÃO, REPARAÇÃO E MELHORAMENTO DAS ESTRADAS

3-1. CLASSIFICAÇÃO DOS TRABALHOS EM ESTRADAS

a. As missões atribuídas à Eng, em relação à rede de estradas, têm por objetivo:

(1) manter ou aumentar a capacidade de tráfego da rede de estradas existente;

(2) restabelecer o tráfego em trechos interrompidos;

(3) construir novos trechos ou novas estradas, ampliando a rede de estradas existente.

b. Estas missões compreendem um ou mais, dos seguintes trabalhos:

(1) conservação;

(2) reparação;

(3) melhoramento;

(4) construção.

c. Será abordado, neste capítulo os trabalhos de correção, reparos e melhoramento das estradas.

3-2. TRABALHOS DE CONSERVAÇÃO

a. A conservação de estradas compreende trabalhos permanentes que visam eliminar os efeitos causados pelo próprio tráfego (desgaste) ou pelas condições meteorológicas normais. Engloba trabalhos correntes, tais como: a remoção de lama, limpeza de valetas e bueiros, colocação de saibro e areia e o entulhamento de sulcos e panelas.

b. Cada OM Eng é responsável pela rede de estradas dentro da sua Z Aç, cabendo aos escalões superiores avaliar a necessidade ou não de apoio suplementar.

c. A extensão da estrada que um elemento pode conservar é função, entre outros fatores, principalmente, das condições técnicas da estrada, da disponibilidade do material necessário e da intensidade do tráfego.

d. Para a conservação das estradas, deve-se ter sempre em vista que:

(1) é preferível conservar algumas estradas boas entre pontos vitais, a conservar muitas estradas regulares ou de traçados inadequados;

(2) uma conservação contínua representa, certamente, uma futura economia de tempo, material e trabalho.

3-3. PROCEDIMENTOS PARA A CONSERVAÇÃO

a. Ondulações (Fig 3-1)

(1) Causas - Falta de capacidade de suporte do subleito e ausência ou deficiência de drenagem.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Com o emprego de motoniveladoras (Mni) efetuar um valeteamento lateral e saídas de água para a retirada do excesso.;

(b) Trabalhos afetos à ED - Obedecendo à progressividade dos trabalhos, lançar material do próprio local espalhando-o com a Mni nos trechos mais críticos. Nos pontos com ameaça de formação de atoleiro, empregar material, no mínimo, de reforço de subleito.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Fazer ou refazer o revestimento primário nos trechos críticos e nos que apresentam indícios de defeito;

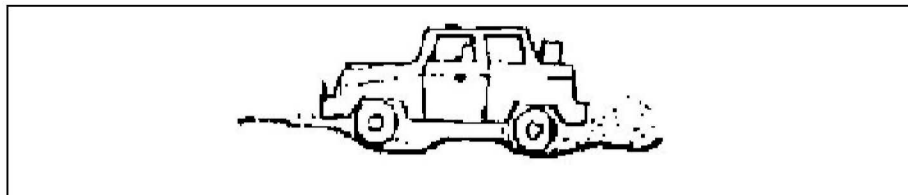



Fig 3-1. Ondulações

b. Rodeiros (facão ou sulcos longitudinais) (Fig 3-2)
Causas e correções - as mesmas das ondulações.

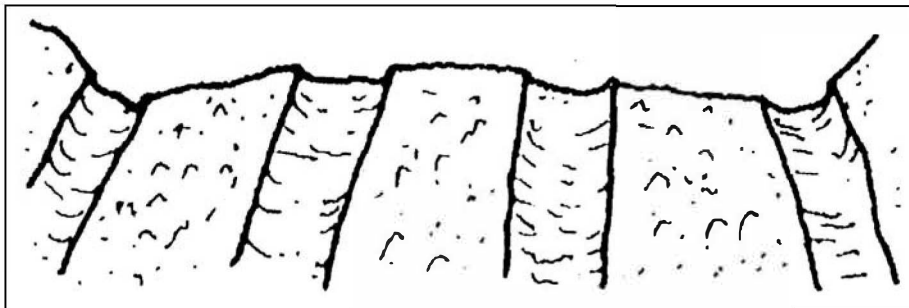



Fig 3-2. Rodeiros

c. Areião de Espigão

(1) Causas - Região de solo arenoso onde é pouco ou inexistente a presença de ligantes (argila), formando trechos de areia pela ação combinada do tráfego e da chuva. Em tempo seco torna-se obstáculo, prejudicando a continuidade e a segurança do tráfego.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Nos trechos mais críticos, que provocam atoleiro na areia, raspar com Mni, pelo menos a faixa central, até atingir o solo mais firme. Outra solução é lançar uma camada mínima (10 cm) de material argiloso. Deverá haver controle de trânsito nesses locais.

(b) Trabalhos afetos à ED - Revestir com material argiloso e granular, com espessura mínima de 10 cm, conformando o abaulamento nos trechos críticos. Em seguida fazer o valeteamento lateral a fim de retirar o excesso de água do leito da estrada.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Melhorar o trabalho da ED aumentando a espessura do revestimento e deixando o trecho com duas faixas de tráfego. Uma boa solução é o “confinamento” ou “empacotamento” da areia com argila. Em seguida deve-se executar o revestimento primário.

d. Areião de Baixada

(1) Causa - É a mesma do areião de espigão. Tem ainda a colaboração das erosões das regiões vizinhas, particularmente onde há ausência de revestimento vegetal.

(2) Correções - São as mesmas do areião de espigão. É fundamental o combate das erosões das valetas laterais das partes altas. As erosões (voçorocas) dos terrenos adjacentes são problemas sérios, mas não devem ser, em princípio, objeto de qualquer providência.

e. Excesso de Poeira (Fig 3-3)

(1) Causas - Abundância de material fino no leito por desagregação do material argiloso do terreno original ou do revestimento primário, seja por excesso de tráfego, seja pelo excesso de água no leito. Observa-se a formação de lama em épocas chuvosas.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Não há solução rápida. Para a E Bda, nos trechos de poeira densa, com risco para a segurança, raspar com uma Mni.

(b) Trabalhos afetos à ED - Nas rodovias sem revestimento, raspar com uma Mni e lançar uma camada mínima de material granular como reforço de subleito. Nas rodovias que têm revestimento, reconformar o leito e fazer o revestimento primário com espessura mínima.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Não há trabalho para a E Ex. O mínimo feito pela ED deverá ser suficiente para atender às necessidades do tráfego.

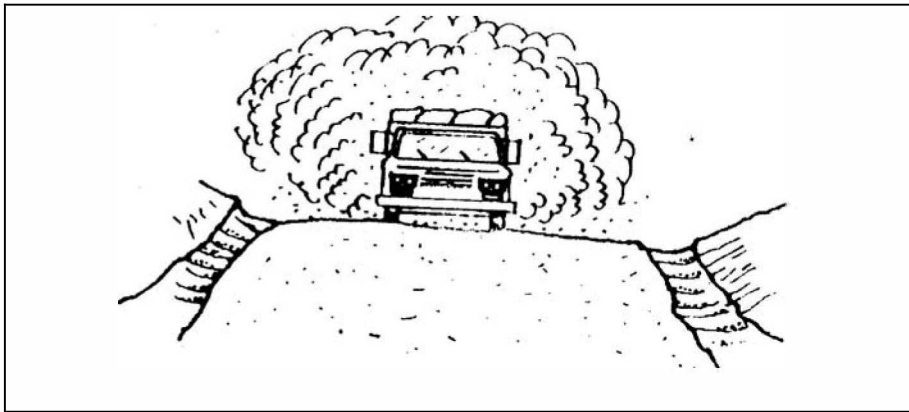



Fig 3-3. Excesso de poeira

f. Pista Escorregadia (Fig 3-4)

(1) Causas - Trecho muito argiloso onde os veículos perdem a aderência por falta de atrito.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Lançar material granular (brita, seixo rolado, entulho de alvenaria, cascalho) ou material arenoso nos trechos mais críticos, de modo a aumentar o atrito.

(b) Trabalhos afetos à ED - Executar o revestimento primário ou refazê-lo com solo estabilizado granulometricamente, nos trechos críticos, na espessura mínima.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Reforçar a camada executada pela ED, com indícios de problemas.

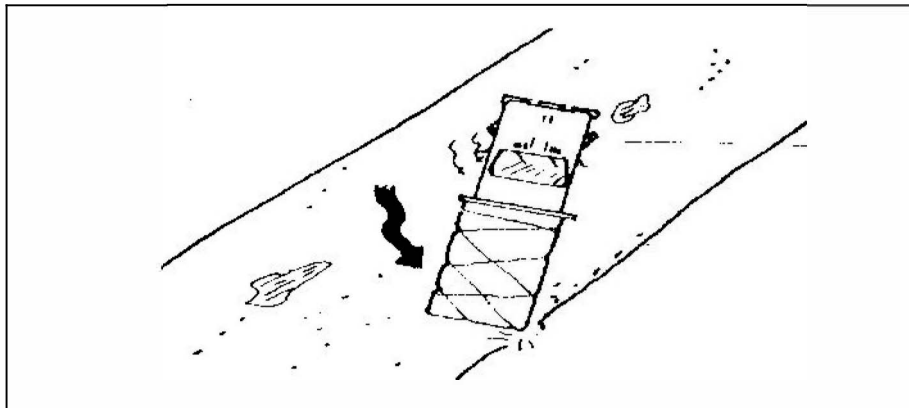



Fig 3-4. Pista escorregadia

g. Rocha Aflorante (Fig 3-5)

(1) Causas - Região de montanha ou muito ondulada com a camada do solo de pouca espessura e grande ação erosiva das águas.

(2) Correção

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Revestir uma das faixas de tráfego, acima da rocha aflorante, com a espessura mínima (10 cm).

(b) Trabalhos afetos à ED - Aumentar a espessura do revestimento e a largura da estrada para duas faixas de tráfego.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Não há necessidade de trabalho. O mínimo executado pela DE deverá ser o suficiente até a evolução tática da situação e a mudança de Z Aç.

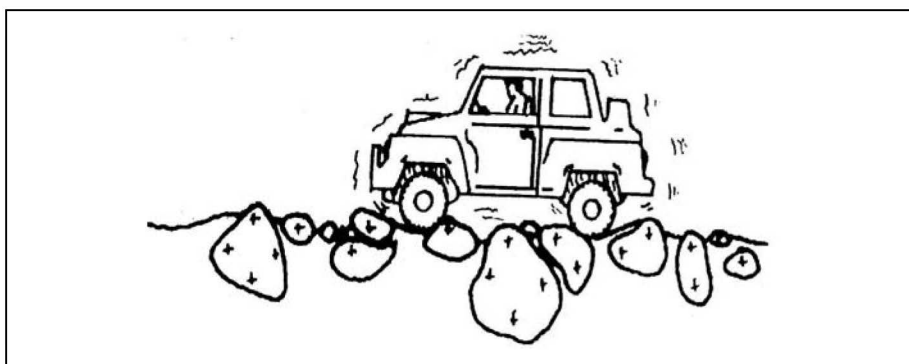



Fig 3-5. Rocha aflorante

h. Corrugações Rítmicas (Costela de Vaca)

(1) Causas - Não se sabe ao certo a causa. Atribui-se à má graduação granulométrica do solo local ou do revestimento primário e à velocidade e peso do tráfego.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Raspagem de, pelo menos, uma faixa de tráfego com uma Mni.

(b) Trabalhos afetos à ED - Raspagem da pista nos trechos críticos reforçando o solo local com material de revestimento ou de reforço de subleito;

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Executar um revestimento primário ou refazê-lo com material estabilizado granulometricamente nos trechos críticos e nos que apresentem indícios de defeitos.

i. Panelas e Buracos

(1) Causas - Fundação fraca (subleito), má graduação ou mistura dos materiais de revestimento e má drenagem superficial. Há o empoçamento de água que, ao ser expulsa pelo tráfego, leva consigo as partículas finas, desagregando o solo local e/ou o revestimento.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Nos pontos mais críticos, revestir (entupir) com solo local (de 15 a 20 cm de espessura, solto, acima das bordas) pelo menos uma faixa. Se as profundidades ultrapassarem 20 cm, há necessidade de escarificar e reconformar (operação de reparação) o trecho e refazer o revestimento.

(b) Trabalhos afetos à ED - Escarificar os trechos críticos e reconformar (operação de reparação) a pista de modo a restabelecer o tráfego em duplo sentido. Apenas a raspagem não resolve, pois as panelas ficarão encobertas com material desagregado. Serão lançadas para a lateral pelo tráfego em forma de poeira e reaparecerão. Após a reconformação, refazer o revestimento primário.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Complementar a escarificação de outros trechos com indícios de defeitos e revestir com material de subleito ou de revestimento primário.

j. Pista Derrapante (Fig 3-6)

(1) Causas - Excesso de material granular (pedregulho) desprendido do solo local ou do revestimento ou falta do material ligante (argila).

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Raspar, com Mni, pelo menos uma faixa ou trechos mais críticos.

(b) Trabalhos afetos à ED - Revestir com material argiloso e de granulometria menor, na espessura mínima.

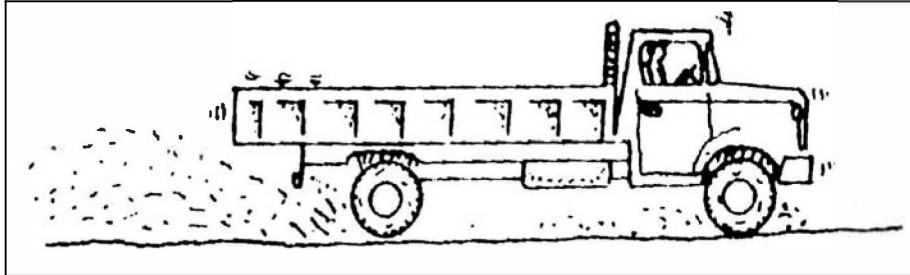



Fig 3-6. Pista derrapante

l. Achatamento da Pista

(1) Causa - Ação do tráfego e excesso de raspagem com Mni, sem reposição de material, deixando a pista sem abaulamento, prejudicando a drenagem e a própria estabilidade da rodovia.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Nos pontos críticos e em período de chuvas poderão ser construídas valetas. Dificilmente terá condições de realizar o serviço sem o concurso do escalão superior.

(b) Trabalhos afetos à ED - Fazer uma raspagem deixando um mínimo de abaulamento (ideal é de 3 a 5%) nos trechos mais críticos para retirar a água acumuladas no leito. Se o achatamento chegar a ser de abaulamento negativo (10 a 30 cm no eixo) a solução é muito técnica e demorada necessitando de uma manutenção corretiva (reparação) com reconformação do leito, isto é, fazer o leito voltar à geometria de projeto.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Ampliar o trabalho executado pela ED e ,nos trechos mais críticos e com indícios de defeitos mais graves, executar a reconformação do leito.

m. Lama

(1) Causas - Excesso de água na pista, pista com achatamento; baixa capacidade de suporte do revestimento, leito ou subleito; má granulometria do revestimento primário ou solo local com desagregação e formação de poeira.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Raspar a lama e corrigir a drenagem, com valetas laterais nos pontos mais críticos.

(b) Trabalhos afetos à ED - Raspar a lama, corrigir a drenagem e revestir, com pedregulho, brita ou seixo rolado, os trechos críticos que ameaçam iniciar a formação de atoleiros;

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Melhorar o abaulamento e o valeteamento.

n. Borrachudo

(1) Causas - Retenção de água nas camadas interiores do pavimento ou baixa capacidade de suporte das camadas de reforço.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Construir pista de desvio ou variante.

(b) Trabalhos afetos à ED - Se o desvio estiver atendendo, manter. Caso contrário retirar o material saturado, reconformando a plataforma com material de boa qualidade.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Caso o problema ainda não tenha sido resolvido, verificar o sistema de drenagem do local considerando, inclusive, obra para o rebaixamento do lençol freático.

3-4. TRABALHOS DE REPARAÇÃO

a. A reparação de estradas compreende os trabalhos que visam consertar os estragos causados pela ação inimiga ou por condições meteorológicas excepcionais, como por exemplo:

(1) bombardeios;
(2) destruições;
(3) obstáculos;
(4) enchentes;
(5) quedas de barreiras;
(6) corridas de aterros;
(7) avalanches.

b. Os cuidados técnicos empregados nas reparações são os mesmos das construções. As soluções tecnicamente corretas são demoradas. Na reparação, esta demora é ampliada, uma vez que requer a investigação da extensão do dano e a retirada do material danificado para permitir a reconstrução da parte afetada, muitas vezes, sem ou com pouco espaço para a manobra dos equipamentos. Influi também, na demora, a ação do inimigo.

c. Assim, é difícil estabelecer soluções técnicas para as E Bda e ED que, em operações ofensivas ou movimentos retrógrados, permanecem pouco tempo na Z Aç.

d. Em alguns casos não será observada a progressividade dos trabalhos, ferindo esta característica da arma de Eng. Em outros casos, os trabalhos executados pela E Bda serão desfeitos pela ED ou pela E Ex, para que a reparação se dê dentro da técnica recomendada. Valorizando-se, assim, a durabilidade dos trabalhos.

3-5. PROCEDIMENTOS PARA A REPARAÇÃO

a. Crateras (Fig 3-7)

(1) Causas - Bombardeios aéreos e de artilharia; ação de tropa de engenharia do inimigo (Eng Ini) ou ação de sabotagem do inimigo.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Desbordar. Se não for possível, aterrar (entulhar) com solo local ou desagravar as bordas da cratera o suficiente para a passagem em uma faixa.

- Material - um trator de esteiras.

(b) Trabalhos afetos à ED - Complementar o trabalho de aterramento executado pela E Bda de modo a restabelecer o tráfego em toda a pista. Revestir com material granular, principalmente se for período chuvoso, pois a cratera poderá tornar-se um atoleiro.

- Material - um TE, uma carregadeira de rodas (CR), uma Mni e os caminhões basculantes (CB) disponíveis.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Abrir o local retirando o solo local. Retirar todo material frouxo do aterro e dos pavimentos ou revestimento primário, se for o caso. Cortar com TE ou moto-escavo-transportador (MT) no sentido longitudinal da rodovia até onde haja compactação ou até atingir o aterro original. Deixar o corte com rampa (H:V) de 5:2 a 7:2. Refazer o corpo do aterro, preferencialmente com material da mesma característica do existente, com os cuidados de compactação e umidade, colocando camadas não superiores à 20 cm. Refazer a sub-base ou revestimento primário com material também de igual característica. Por último, refazer o revestimento correspondente.

- Material - um TE, uma Mni, um rolo compactador (R Cmpc), um trator agrícola (TA) com grade de disco (GD), um carro de transporte de água (CTA), uma CR e os CB disponíveis.

Fig 3-7. Eliminação de crateras

b. Rompimento de aterro

(1) Causas - Obstrução de bueiro; condições meteorológicas anormais ou ação da Eng Ini.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Se não for possível desbordar, aterrar (entulhar) o suficiente para a passagem em uma faixa. Se for local de bueiro, empregar material de equipagem de pontes, construir uma ponte de circunstância ou utilizar troncos de madeira oca ou feixe de varas no talvegue, à guisa de bueiro e fazer o envolvimento com pelo menos 40 cm de solo local, realizando a compactação em camadas não superiores à 15 cm.

- Material - um TE.

(b) Trabalhos afetos à ED - Ampliar o que foi executado pela E Bda retirando, se for o caso, os feixes de vara e aumentar a passagem para duas faixas.

- Material - um TE, uma CR e os CB disponíveis.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Executar a mesma correção aplicada

em crateras, fazendo a recolocação de bueiros, se for o caso.

- Material - um TE, uma Mni, um R Cmpc, um TA com GD, um CTA, uma CR e os CB disponíveis.

c. Queda (deslizamento) de barreiras

(1) Causas - As causas dos deslizamentos têm explicações muito técnicas. Podem ser classificadas como naturais (internas, externas ou mistas) e/ou provocadas pela ação do inimigo.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Se não for possível desbordar, fazer um desvio pela crista do corte ou abrir uma faixa com TE, caso seja meia encosta. Há necessidade de analisar se, ao abrir a faixa, o maciço desequilibrado não continuará a correr.

(b) Trabalhos afetos à ED - Retirar todo o material deslizado até atingir o talude com material estável. Refazer as obras de drenagem atingidas. Caso não tenha drenagem profunda no local, verificar se há necessidade de realizá-la. Retirar o material de cima para baixo.

d. Encontros de ponte destruídos

(1) Causas - Condições meteorológicas anormais, ação da Eng Ini ou bombardeios aéreos ou de artilharia.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Nada a realizar. A solução técnica é demorada e a E Bda não possui material adequado.

(b) Trabalhos afetos à ED - Vencer a brecha com o material de pontes de sua dotação.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Realizar o rampamento do encontro com a mesma inclinação prevista em crateras. Refazer o aterro utilizando o processo de "ponta de aterro" (descarregar com CB ou MT e empurrar cuidadosamente com TE, até a "cortina do encontro", em camadas de 20 cm e compactar, utilizando placa vibratória, se for um encontro de pequeno porte).

- Material - O de um Pel E reforçado com um TE, uma CR, um TA, um R Cmpc, CB disponíveis, um CTA, um TA/GD. Se o volume de material a repor exigir mais de dois dias de trabalho, empregar um TE de grande potência e duas a três MT, dispensando, assim, os CB.

e. Atoleiros (Fig 3-8)

(1) Causas - Falta de drenagem superficial, excesso de tráfego com peso, por eixo, acima da capacidade de suporte da estrada durante períodos chuvosos ou lençol freático alto.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Atoleiros de pequena extensão (até 20 ou 30 metros): empregar pedra de mão para aumentar a capacidade de suporte do local; tracionar os veículos com cabo de aço ou corrente, utilizando um TE compatível com o peso do veículo atolado.

(b) Trabalhos afetos à ED - Suspender temporariamente o tráfego; drenar o local por qualquer processo e obturar o atoleiro com pedra de mão ou pedra britada até a borda. Se houver lençol freático alto (mina de água), rebaixá-

lo com uma valeta profunda (1,5 m - idêntica à de dreno profundo) no local da valeta lateral e, então, obturar os buracos do atoleiro.

- Material - uma Retro-escavadeira (RE), uma CR, CB disponíveis e uma moto-bomba.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Retirar todo o material colocado no atoleiro pela E Bda e ED, retirar todo o material desagregado pela água, empregando CR ou TE de pequena potência; deixar ao sol e ao vento para perda de umidade (o ideal são dois dias); caso chova, cobrir com lona plástica ou lona comum para proteção do local; rampar o buraco como em cratera; se for o caso, recompletar com material de melhor capacidade de suporte que a do solo local ou aterro, em camadas de 20 cm. Se houver lençol freático alto, executar dreno profundo expedito.

- Material - um TE de pequena potência, uma CR, Cam Bas disponíveis, um R Cmpc, um TA e uma Mni. Se houver dreno profundo acrescer uma RE.

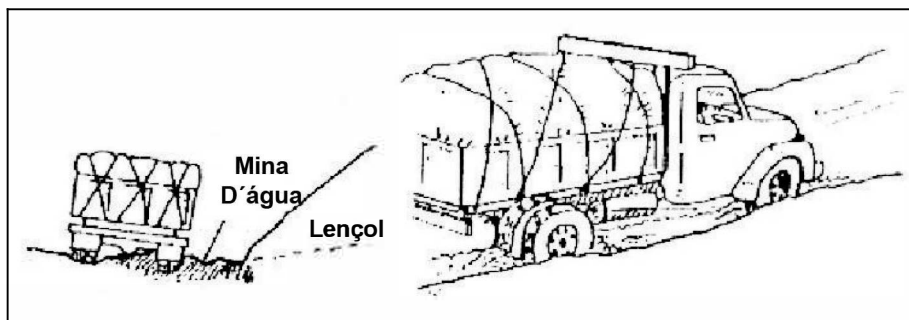



Fig 3-8. Atoleiro

f. Erosão de aterro (Cintura fina) (Fig 3-9)

(1) Causas - Erro de raspagem com Mni, provocando banquetas no aterro; defeito de compactação na fase de construção ou pouca coesão do material de aterro. A água canalizada adquire energia a ao sair pela saia do aterro provoca a erosão, causando o estreitamento do aterro e deixando, em muitos casos, a rodovia com apenas uma faixa.

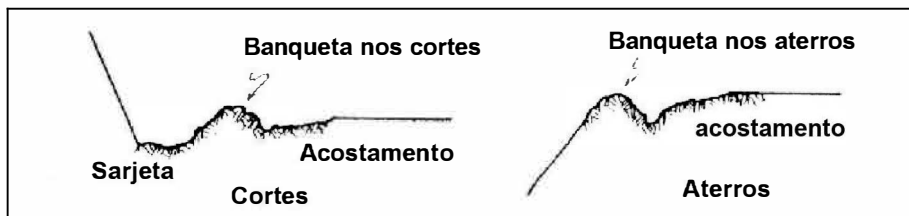



Fig 3-9. Erosão de aterro

(2) Correções (Fig 3-10)

(a) Trabalhos afetos à E Bda - nada a realizar.

(b) Trabalhos afetos à ED - Nada a realizar. Serviço de técnica apurada e demorada.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Rebaixar a parte erodida, em degraus; recompletar o aterro compactando em camadas de 20 cm. O material tem que ter a mesma característica do aterro.

- Material - um TE de média ou baixa potência, CB disponíveis, um R Cmpc, um TA, um CTA e uma CR. Se o volume de trabalho for grande (acima de 200 m3) acrescentar duas a três MT e um TE de grande potência, retirando os Cam Bas.

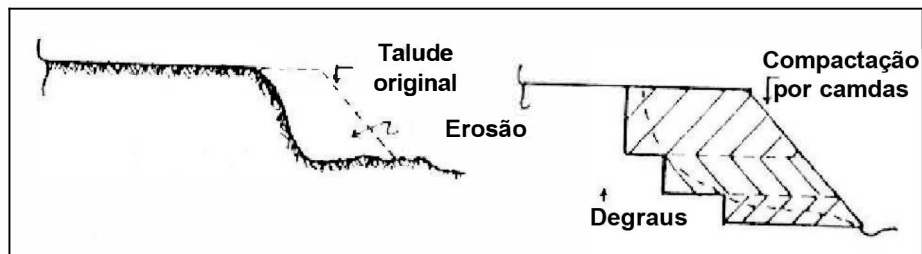



Fig 3-10. Correção de erosão de aterro

g. Erosão de Valetas Laterais (Fig 3-11)

(1) Causas - Baixa coesão do solo da região (arenoso ou siltoso); drenagem com deficiência técnica (valetas laterais); região onde a água de superfície atinge grande velocidade ou região sem revestimento vegetal.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Nos locais onde há risco de acidente, por estreitamento da faixa, empregar um TE para melhorar a faixa.

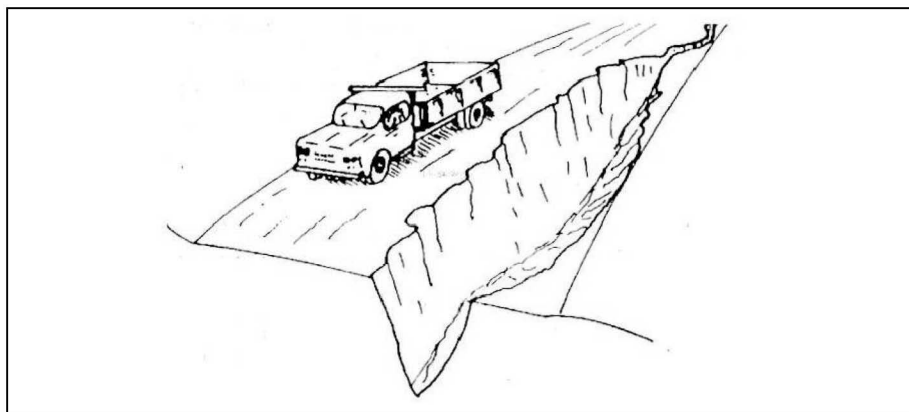



Fig 3-11. Erosão de valetas laterais

(b) Trabalhos afetos à ED - Nos pontos críticos, ampliar o trabalho da E Bda, de modo a tornar a pista com fluxo duplo.

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Preenchimento dos sulcos ou ravinas com solo local. Preencher os últimos 30 cm com material argiloso e refazer o revestimento da rodovia e as valetas laterais. Empregar as técnicas de prevenção de erosão, quebrando a velocidade da água canalizada nos trechos mais críticos.

- Material - uma Mni, um TE, uma CR, um R Cmpc, um CTA e CB disponíveis.

h. Reconformação e Recomposição do Subleito

(1) Causas - Desgaste natural ocasionado pelo tráfego.

(2) Correções

(a) Trabalhos afetos à E Bda - Nada a realizar.

(b) Trabalhos afetos à ED - Recompor os trechos mais críticos que afetam a velocidade e o conforto.

- Material - uma ou duas Mni

(c) Trabalhos afetos à E Ex - Reconformar e/ou recompor os trechos necessários.

- Material - Mni e CB disponíveis, três TA, três R Cmpc, um CTA, um TE, e uma CR.

3-6. TRABALHOS DE MELHORAMENTOS

a. Os trabalhos de melhoramentos têm por objetivo a modificação das condições técnicas das estradas, a fim de aumentar a sua capacidade de trânsito. A execução desses trabalhos geralmente impõe uma redução ou mesmo a interrupção do tráfego e, por isso, devem ser realizados com oportunidade e rapidez.

b. As normas técnicas aplicadas aos melhoramentos são as mesmas utilizadas para a construção de novas estradas.

c. Os trabalhos de melhoramento podem compreender:

(1) alargamento ou aumento da largura da estrada;

(2) modificação do traçado, com o aumento dos raios das curvas;

(3) modificação do perfil longitudinal;

(4) modificação na pista, pela substituição do revestimento existente por outro superior ou pela colocação de revestimento, caso não haja;

(5) melhoria das condições de visibilidade nas curvas;

(6) melhoria de drenagem do solo;

(7) reforço de obras-de-arte.

CAPÍTULO 4

TRABALHO DE CONSTRUÇÃO DAS ESTRADAS

ARTIGO I

INTRODUÇÃO

4-1. GENERALIDADES

a. A construção de estradas na Z Cmb é excepcional porque implica em trabalhos de vulto. Entretanto, algumas vezes pode ser necessária a construção de pequenos trechos para:

(1) servir de locais de embarque e desembarque;
(2) acessar pontos de suprimento ou depósitos; e
(3) permitir o melhor aproveitamento da rede de estradas existentes.

b. A conservação e a construção de estradas de campanha são trabalhos diferentes dos normalmente adotados na prática civil. As condições características e normas permanecem as mesmas, porém, as operações militares impõem flutuações no tráfego. O volume de tráfego, várias vezes, não se enquadra nas possibilidades da rede de estradas, sendo insuficientes e freqüentemente necessitam suportar tráfego com grandes concentrações de viaturas. As imposições da situação militar quase sempre exigem trabalhos rústicos e improvisados, executados principalmente com a finalidade de satisfazerem às necessidades mais prementes.

c. Serão detalhados os seguintes assuntos:

(1) solos;
(2) drenagem; e
(3) terraplenagem.

d. A Fig 4-1 mostra a seção-tipo de uma rodovia com pistas simples, destacando os seus principais elementos.

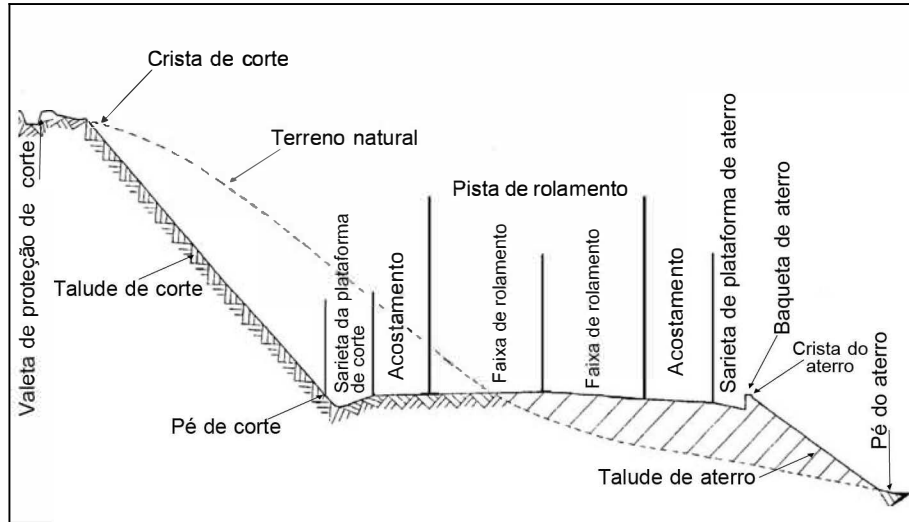



Fig 4-1. Seção-tipo de rodovia com pistas simples

ARTIGO II

SOLOS

4-2. INTRODUÇÃO

a. A finalidade do exame dos solos é obter informações quanto à natureza e ao tipo dos solos que são encontrados na escavação; à natureza e o tipo dos solos sobre e com os quais os aterros serão construídos e a influência que terão os solos existentes por trás dos taludes e por baixo das fundações dos aterros, no que diz respeito às operações de construção e à futura manutenção das obras.

b. Essas informações são úteis para o projeto final da estrada em planta e perfil, assim como para a escolha dos materiais adequados à construção. São úteis também para a localização adequada dos drenos e dos bueiros; para verificar a necessidade do tipo de tratamento do subleito, assim como para definir o tipo e dimensionar a base e o revestimento da estrada a ser construída.

4-3. NATUREZA DOS SOLOS

a. Numa classificação genérica, que leve em conta tão somente a formação original, os solos podem ser divididos em dois grandes grupos : solos residuais e solos transportados.

b. Os solos residuais são aqueles provenientes da decomposição e alteração das rochas “in situ”.

c. Os solos transportados são aqueles depositados em terrenos baixos por ação da gravidade, águas superficiais (rios e enxurradas) ou pela ação do vento.

d. São ainda da maior importância técnica os denominados solos orgânicos que, sob o ponto de vista da engenharia, apresentam características indesejáveis, destacando-se sua elevada compressibilidade e alta capacidade de absorção de água.

4-4. COMPOSIÇÃO DOS SOLOS

a. O solo é um sistema trifásico constituído das fases sólida (mineral), líquida (água) e gasosa (vapor de água).

b. As seguintes propriedades estão vinculadas à fase sólida :

(1) Textura - É identificada pelo seu aspecto visual. São classificados como solos de granulação grossa e solos de granulação fina. Uma linha divisória conveniente para distinguir essas categorias é o menor diâmetro do grão visível a olho nu (cerca de 0,05 mm). Assim, solos com partículas de maiores dimensões, como areia e pedregulho, são solos de granulação grossa. Os siltes e as argilas, compostos de partículas minerais muito finas, são solos de graduação fina.

(2) Granulometria dos solos - A descrição quantitativa da textura de um solo é feita através de sua granulometria, ou seja, da determinação das dimensões dos seus grãos e da distribuição percentual em peso dos grãos, em intervalos de dimensões, previamente estabelecidos nos métodos de classificação, baseados exclusivamente na granulometria dos solos. Esses intervalos denominam-se frações de solo e recebem denominações que são utilizadas nas descrições dos solos. As frações do solo têm as classificações da tabela abaixo:

Intervalo (mm)	**Fração**	**Classificação**
76 - 4,8	pedregulhos	granulação grossa
4,8 - 0,05	areias	
0,05 - 0,005	siltes	granulação fina
< 0,005	argilas	

Tab 4-1.

4-5. ENSAIOS

a. Ensaios de caracterização - permitem a classificação dos solos e, conseqüentemente, uma previsão do seu comportamento nos demais ensaios e futuramente na construção. Incluem as seguintes determinações:

(1) teor de umidade natural;
(2) peso específico aparente;
(3) densidade real dos grãos sólidos;
(4) composição granulométrica por peneiramento ou sedimentação; e
(5) limites de consistência (liquidez, plasticidade e contração).

b. Ensaios de compactação - Na construção de aterros, pavimentos rodoviários e aeroportos, os solos precisam ser levados a um estado mais denso para melhorar suas propriedades. Para isso, são compactados, mecanicamente, por equipamentos dotados de rolos, martelos ou vibradores.O peso específico a ser obtido no campo é definido por meio de ensaios básicos padronizados, denominados ensaios de compactação os quais objetivam determinar a correlação entre o teor de umidade e sua massa específica aparente.

c. Ensaios para pavimentos - Os ensaios freqüentemente empregados nos projetos de pavimentos são os seguintes:

(1) Equivalente de areia - utilizado no controle dos finos de materiais granulares, usados em pavimentação.

(2) Índice Suporte Califórnia (ISC ou CBR) - permite determinar um valor relativo da capacidade suporte de um solo, compactado nas condições de umidade ótima e massa específica aparente seca, correspondentes à energia de compactação, adequada ao projeto em tela.

(3) Mini - CBR - semelhante ao anterior, porém realizado com corpos de prova miniatura, utilizado em solos de granulação fina (passando na peneira 2,0 mm).

4-6. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

Teor de umidade →

$$h = \frac{P_a}{P_s} \cdot 100\ \%$$

a. Convencionou-se denominar “teor de umidade” a relação, expressa em percentagem, entre o peso da água existente numa certa massa de solo e o peso das partículas sólidas.

b. A principal dificuldade na determinação prática da umidade reside na definição do peso seco. A questão foi resolvida na mecânica dos solos, convencionando-se que o peso seco é o que se obtém, secando-se o material em estufa, com temperaturas de 110º C a 115º C, durante um período suficiente para chegar-se a um peso constante. Em geral, são necessárias 15 a 16 h de estufa para obter-se uma amostra seca.

c. Métodos de determinação do teor de umidade - O teor de umidade pode ser determinado pelos seguintes métodos:

(1) Método de laboratório - Determinação do teor de umidade, com secagem em estufa.

(2) Métodos expeditos de campo
(a) Método expedito “Speedy”
(b) Método expedito do álcool

e. O método expedito “Speedy” é o mais confiável. É utilizado quando não se dispõe de estufa no canteiro ou, principalmente, quando se necessita de resultados imediatos. O método expedito do álcool não será abordado neste manual.

4-7. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE PELO MÉTODO EXPEDITO "SPEEDY"

Neste método, a umidade é determinada pela pressão do gás resultante da ação da água contida na amostra sobre o carbureto de cálcio que se introduz no aparelho específico do ensaio.

a. Material empregado - A aparelhagem principal é o conjunto “Speedy” constituído do recipiente de pressão, tampa dotada de um manômetro e duas esferas de aço para quebra da ampola (Fig. 4-2). São ainda necessários:

(1) ampolas com o reagente carbureto de cálcio (CaC2) finamente pulverizado.

(2) balança com sensibilidade de 0,01 g

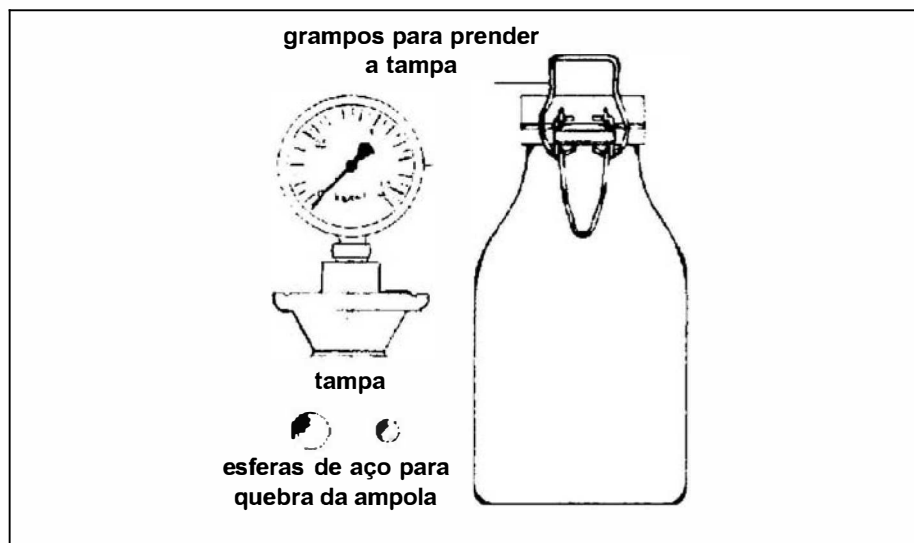



Fig 4-2. Aparelho “Speedy” para determinação de umidade

b. Preparo da amostra - Deve-se fazer uma previsão do teor de umidade da amostra a ser ensaiada e com esse valor obtém-se o peso da amostra na tabela da Tab 4-2.

Umidade estimada (%)	Peso da amostra (g)
5	20
10	10
20	5
30 ou mais	3

Tab 4-2. Peso da amostra em função da umidade estimada

c. Execução do ensaio - Obedecendo a seqüência abaixo, serão inseridos no recipiente de pressão:

(1) a amostra de solo pesada;

(2) as esferas de aço; e

(3) a ampola de carbureto de cálcio, a qual deve deslizar, cuidadosamente, pelas paredes da câmara, a fim de evitar que se quebre.

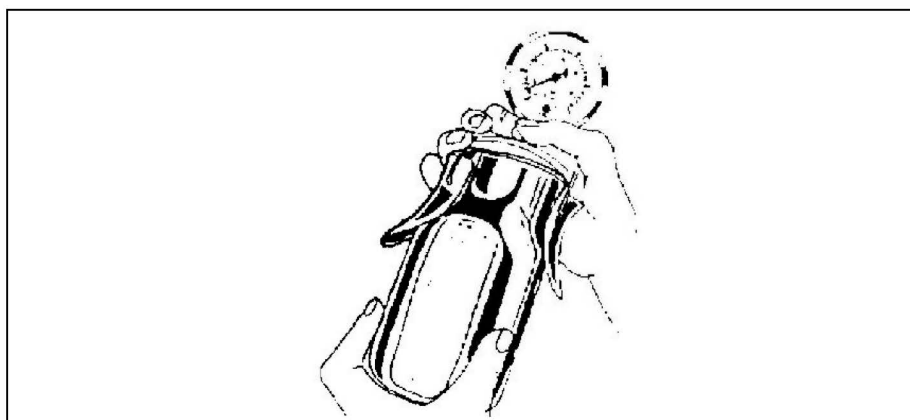



Fig 4-3.

Nesta seqüência, o aparelho é levado à posição horizontal e recolocada a tampa, selando-se o conjunto.

A seguir, o conjunto já na posição vertical é agitado (Fig 4-4), vigorosamente, várias vezes, para quebrar-se a ampola.

Cerca de um a três minutos serão necessários para a completa reação do carbureto de cálcio com a água livre da amostra. A pressão dos gases liberados na reação (eteno - C_2H_2), será indicada no manômetro. Quando essa indicação permanece constante, toda a água presente já reagiu com o carbureto e a pressão do manômetro (Pm) é anotada.

Se a leitura manométrica for menor do que 0,2 kg/cm² o ensaio deve ser

repetido com o peso de amostra (da Tab 4-3) imediatamente superior ao empregado anteriormente. Se a leitura for maior do que 1,5 kg/cm² , repete-se o ensaio com um peso imediatamente inferior.

d. Cálculo do Ensaio - Cada equipamento "Speedy" vem acompanhado de uma tabela de aferição onde, através da pressão lida no manômetro (pm) e do peso da amostra, obtem-se a umidade do solo (h1), em relação ao peso da amostra úmida. Para determinar a umidade, em relação ao peso seco da amostra, utiliza-se a fórmula:

$$h\ \% = \frac{h_1}{(100 - h_1)} \cdot 100$$

h - teor de umidade em relação ao peso seco do material;

h1 - umidade obtida pelo aparelho "Speedy", em relação à amostra total úmida.

e. Prováveis causas de erros - A calibração fornecida pelo fabricante deve ser aferida, de tempos em tempos, pois com o uso, a pressão lida no manômetro pode não mais corresponder ao valor da umidade obtido na curva de calibração.

(1) O recipiente de pressão deve estar completamente vedado durante o ensaio, para não haver escapamento do gás, o que poderá ocorrer se a borracha usada na vedação não estiver em perfeito estado.

(2) O carbureto de cálcio só deverá ser colocado no aparelho, no interior de uma ampola e nunca lançado a granel. Tratando-se de substância fortemente higroscópica, a reação teria início antes do fechamento do recipiente.

Ensaio nº	Umidade Estimada (%)	Peso (g)	Pressão Manomé-trica (kg/cm²)	Teor de Umidade (%)
1	5,0	20,0	0,10	0,5

Tab 4-3. Determinação da umidade pelo método expedito "Speedy"

4-8. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS

a. Princípios da análise granulométrica

(1) Objetivos - Um solo compõe-se de partículas de várias formas, tamanhos e quantidades. A análise granulométrica divide essas partículas em grupos pelas suas dimensões (frações do solo) e determina suas proporções relativas ao peso total da amostra. A análise granulométrica é o ensaio básico de laboratório, necessário à identificação de um solo, pelos sistemas de classificação adotados na engenharia de solos.

(2) Frações de solo - A grande maioria dos sistemas de classificação dos solos dividem as partículas sólidas, com base nas suas dimensões, nas

seguintes categorias - matacão, pedra, pedregulho, areia, silte e argila, com a opção de dividir a areia em grossa, média e fina.

(3) Os resultados das análises granulométricas dos solos são importantes na solução de várias situações:

(a) seleção de material para aterro;

(b) materiais para pavimentos rodoviários; e

(c) drenagem do aterro.

4-9. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Divisão Geral		**Grupo de Solos e Designações Típicas**	**Qualidade como Fundação**	**Valor como Aterro**	**Qualidade como pista de rolamento p/Cnst Emergencial**
Solos de granulação grossa	Pedregulhos e Solos Pedregulhosos	Pedregulho com misturas areia/pedregulho bem graduados. Pequena ou nenhuma proporção de finos.	Excelente	Muito estáveis. Abas permeáveis de diques e barragens.	Regular a Má
		Misturas bem graduadas de pedregulho/areia, com excelente ligante.	Excelente	Razoavelmente estáveis. Abas permeáveis de diques e barragens.	Excelente
		Pedregulho e misturas areia/pedregulho mal graduados. Pouca ou nenhuma proporção de finos.	Excelente	Razoavelmente estáveis. Pouco indicadas para abas, podendo ser usado em núcleos impermeáveis.	Má
		Pedregulho com finos, pedregulho muito siltoso, pedregulho argiloso, misturas mal graduadas, de pedra-areia-argila.	Boa a Excelente	Mediamente estáveis, podem ser usados em núcleos impermeáveis.	Má a Boa
Solos de granulação grossa	Areias e Solos Arenosos	Areias e areias pedregulhosas bem graduadas, pouca ou nenhuma proporção de finos.	Excelente	Muito estáveis, seções permeáveis, necessária proteção de talude.	Má
		Misturas areia-argila bem graduadas c/ excelente ligante.	Excelente	Razoavelmente estáveis, podem ser usados em diques de talude suaves.	Excelente
		Areias mal graduadas pouca ou nenhuma proporção de finos.	Boa	Mediamente estáveis, pouco indicadas para abas podendo ser usados em núcleos impermeáveis, diques.	Má
		Areias com finos, areia muito siltosas, areias argilosas misturas areia-argila mal graduadas.	Regular a Boa	Mediamente estáveis usados em núcleos impermeáveis de estruturas contra enchentes.	Má a Boa

Tab 4-4.

<table>
<tr><th colspan="2">Divisão Geral</th><th>Grupo de Solos
e
Designações Típicas</th><th>Qualidade como Fundação</th><th>Valor como Aterro</th><th>Qualidade como pista de rolamento p/Cnst Emergencial</th></tr>
<tr><td rowspan="7">Solos de granulação fina</td><td rowspan="3">Solos de Granulação Fina de Baixa ou Mediana Compressibilidade</td><td>Siltes e areias finas, pó de rocha, areia muito finas argilosas ou siltosas de baixa plasticidade.</td><td>Regular a Boa</td><td>Estabilidade má, podem ser usados em aterros mediante controle adequado.</td><td>Má</td></tr>
<tr><td>Argilas de plasticidade baixa a média, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas margras.</td><td>Má</td><td>Estáveis núcleo impermeáveis e banquetas.</td><td>Má</td></tr>
<tr><td>Siltes orgânicos e misturas siltes-argila com matéria orgânica de baixa plasticidade.</td><td>Má e muito Má</td><td>Não servem para aterro.</td><td>Muito Má</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Solos de Granulação Fina de Elevada Compressibilidade</td><td>Solos siltosos e de areia fina, micáceos e diatomáceos siltes elásticos.</td><td>Má e muito Má</td><td>Estabilidade má, núcleo de aterro hidráulico, indesejáveis em aterro compactado.</td><td>Muito Má</td></tr>
<tr><td>Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas.</td><td>Má e muito Má</td><td>Estabilidade média com taludes suáveis núcleos finos, banquetas e cliques.</td><td>Muito Má</td></tr>
<tr><td>Argilas orgânicas de média e alta plasticidade.</td><td>Má e muito Má</td><td>Não serve para aterro.</td><td>Inútil</td></tr>
<tr><td>Solos orgânicos fibrosos de alta compressibilidade</td><td>Solos turfosos e outros solos de pântano altamente orgânicos.</td><td>Extrema-mente Má</td><td>Não são usados para construção.</td><td>Inútil</td></tr>
</table>

Tab4-4. Continuação

ARTIGO III

COMPACTAÇÃO DE SOLOS

4-10. INTRODUÇÃO

Entende-se por compactação de um solo o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios através da expulsão de ar, aumentando, assim, o seu peso específico e melhorando as suas propriedades como resistência, permeabilidade e compressibilidade.

4-11. CONTROLE DA COMPACTAÇÃO NO CAMPO

a. O controle de compactação de solos no campo, deve ser feito através de dois procedimentos:

(1) controle do teor de umidade, antes do início da compactação, de forma que o solo seja compactado na umidade ótima, com uma tolerância máxima

especificada. Para esse controle, o método mais utilizado é o do "speedy".

(2) controle de peso específico aparentemente seco, após a compactação, através do Grau de Compactação (Gc) definido como a relação entre o peso específico obtido no campo e o peso máximo seco obtido em laboratório:

$$G_C = \frac{Y\ s\ (compo)}{Y\ s,\ máx\ (lab)} \cdot 100$$

b. Não sendo atingido o valor mínimo do grau de compactação especificado, caberá a decisão de se prosseguir na compactação ou de se revolver o material e de recompactá-lo . O processo mais utilizado para a determinação do peso específico aparente "in situ" é o do frasco de areia (Fig 4-4). Neste método utiliza-se uma areia de peso específico aparentemente conhecido, determinando-se o volume do orifício escavado pela diferença de peso antes e após a abertura do registro do frasco. Como pesamos a amostra de solo extraída do orifício, podemos, pela divisão do peso pelo volume encontrado, determinar a densidade do solo e compará-la à densidade máxima determinada em laboratório, obtendo-se o Gc. Normalmente, especifica-se um Gc mínimo de 98% ou 96% para corpos de aterro de barragens, 100% para a base de pavimentos e 95% para sub-bases.

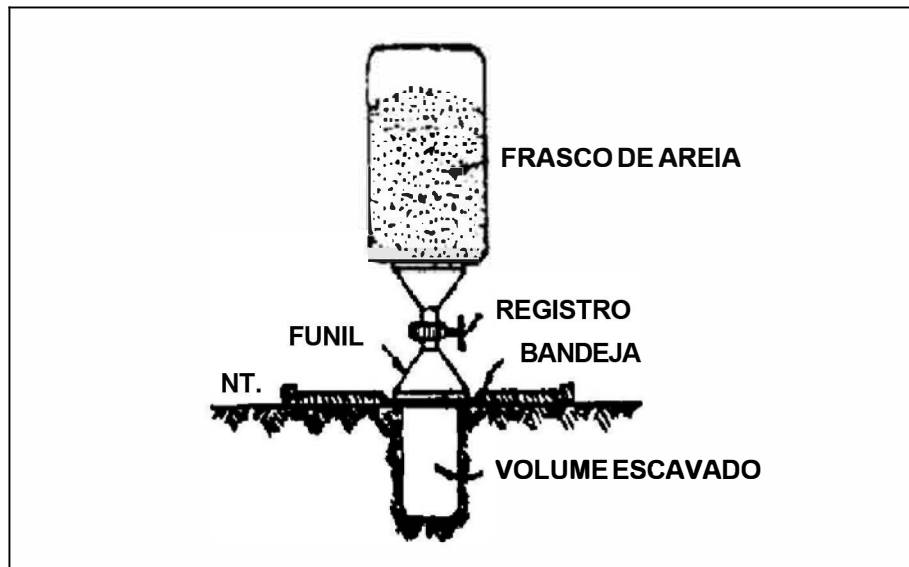



Fig 4-4. Ensaio do Frasco de Areia

CAPÍTULO 5

DRENAGEM

ARTIGO I

GENERALIDADES

5-1. INTRODUÇÃO

a. A drenagem das estradas, no seu sentido mais restrito, trata da remoção da água da própria estrada e do seu encaminhamento adequado. Entretanto, o terreno é usado, também, junto com dispositivos adequados destinados a impedir que ela atinja a estrada e a controlar seus movimentos ao longo e por baixo da mesma.

b. Devido as suas ações erosivas, a água, quando aparece onde não é necessária, torna-se o pior inimigo das estradas. Ela é uma das causas, ou a mais direta, que contribuem para a maior parte dos insucessos e interrupções de estradas. Por esse motivo, o estudo completo e as melhores soluções possíveis para todos os problemas de drenagem são de importância vital para o sucesso das construções rodoviárias.

5-2. DEFINIÇÃO DE DRENAGEM

a. Drenagem é o conjunto de dispositivos, superficiais e subterrâneos, que tem por finalidade desviar a água da estrada, para evitar:

(1) destruição de aterros;
(2) redução da capacidade de suporte do subleito;
(3) erosões nos taludes; e
(4) escorregamentos dos taludes.

b. Origem das Águas
(1) Precipitação atmosférica direta (chuvas).
(2) Fluxo das águas superficiais dos terrenos adjacentes.
(3) Inundação de cursos d'água próximos.
(4) Infiltração através do solo (águas subterrâneas).

c. Tipos de Drenagem
(1) Superficial.
(2) Subterrânea.
(3) De transposição de talvegue (bueiros).

ARTIGO II

DRENAGEM SUPERFICIAL

5-3. FINALIDADE

Tem como objetivo interceptar e captar, conduzindo ao deságüe seguro, as águas provenientes de suas áreas adjacentes e aquelas que se precipitam sobre o corpo estradal, resguardando sua segurança e estabilidade.

a. Dispositivos de drenagem superficial
(1) Valetas de proteção de corte.
(2) Valetas de proteção de aterro.
(3) Sarjetas de corte.
(4) Sarjetas de aterro.
(5) Descida d'água.
(6) Saída d'água.
(7) Caixas coletoras.
(8) Bueiros de greide.
(9) Dissipadores de energia.
(10) Escalonamento de taludes.
(11) Corta-rios.

5-4. VALETAS DE PROTEÇÃO DE CORTE

Têm como objetivo interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante impedindo-as de atingir o talude de corte. Serão locadas paralelas às cristas dos cortes.

Convém sempre se revestir as valetas, podendo ser: concreto, alvenaria de tijolo ou pedra, pedra arrumada, vegetação. (Fig 5-1 a 5-4)

As seções podem ser:

a. Triangulares - criam plano preferencial de escoamento da água, sendo pouco recomendadas para grandes vazões.

b. Retangulares - usada nos cortes em rocha.

c. Trapezoidais - são mais recomendáveis por apresentarem maior eficiência hidráulica.

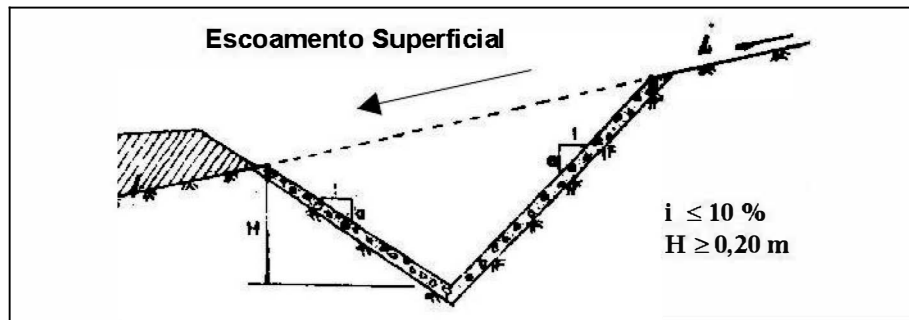



Fig 5-1.

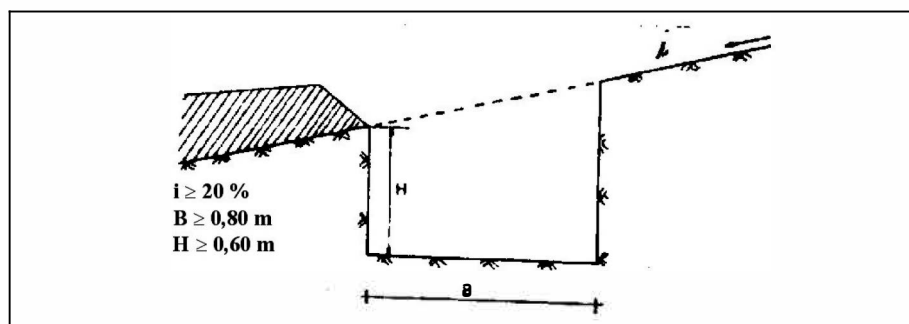



Fig 5-2.

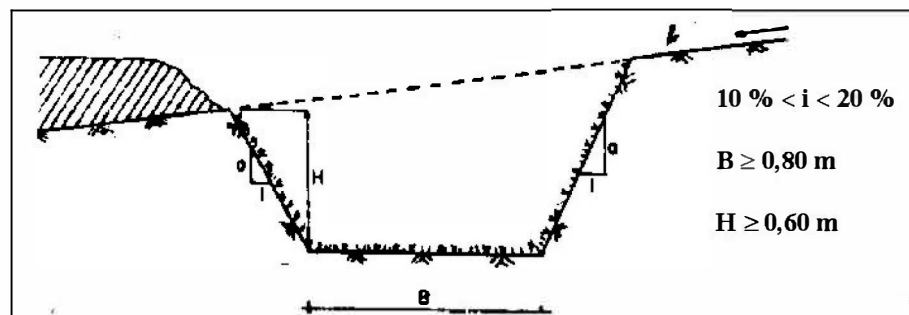



Fig 5-3.

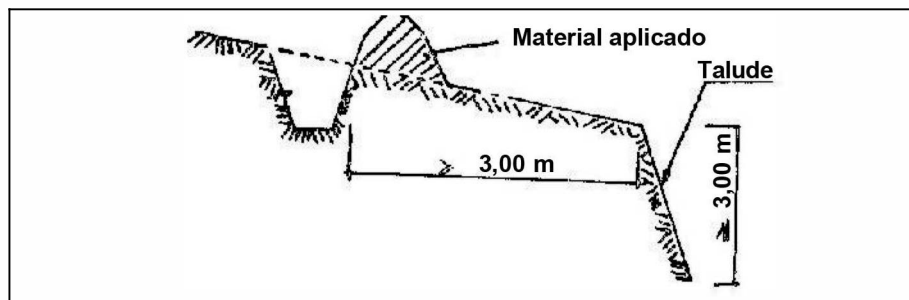



Fig 5-4.

5-5. VALETAS DE PROTEÇÃO DE ATERRO

Têm como objetivo interceptar as águas que escoam pelo terreno a montante, impedindo-as de atingir o pé do talude de aterro, bem como receber as águas das sarjetas e valetas de corte, conduzindo-as com segurança, ao dispositivo de transposição de talvegues.

Serão locadas aproximadamente paralelas ao pé do talude de aterro a uma distância entre 2 e 3 m. (Fig 5-5 e 5-6)

a. Tipos de revestimento

(1) Concreto.
(2) Alvenaria de tijolo ou pedra.
(3) Pedra arrumada.
(4) Vegetação.

b. Tipos de seções

(1) Trapezoidal

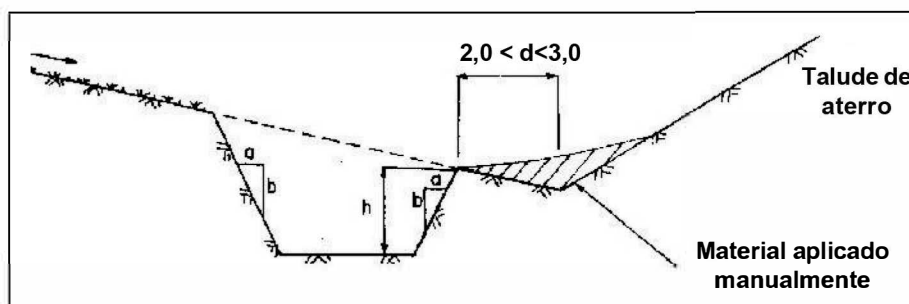



Fig 5-5. Valeta de proteção de aterro com seção trapezoidal.

(2) Retangular

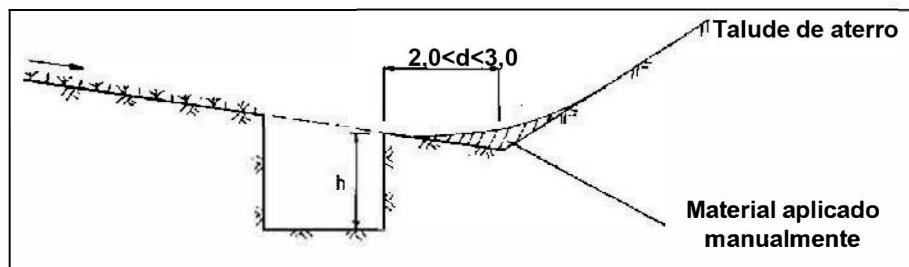



Fig 5-6. Valeta de proteção de aterro com seção retangular.

5-6. SARJETAS DE CORTE

Têm como objetivo captar as águas que se precipitam sobre a plataforma e taludes de corte e conduzi-las, longitudinalmente à rodovia, até o ponto de transição entre corte e aterro, permitindo a saída lateral para o terreno natural ou para a valeta de aterro, ou ainda, para a caixa coletora de um bueiro de greide.

Deve ser executada nos cortes, sendo construídas à margem dos acostamentos.

a. Tipos de revestimento

(1) Concreto.
(2) Alvenaria de tijolo.
(3) Alvenaria de pedra arrumada.
(4) Revestimento vegetal (alto custo de conservação).

b. Tipos de seções

(1) Triangular (Fig 5-7): apresentam razoável e reduzido riscos de acidentes. Os valores extremos da distância da borda do acostamento ao fundo da sarjetas (L1), situam-se entre 1 e 2 m.

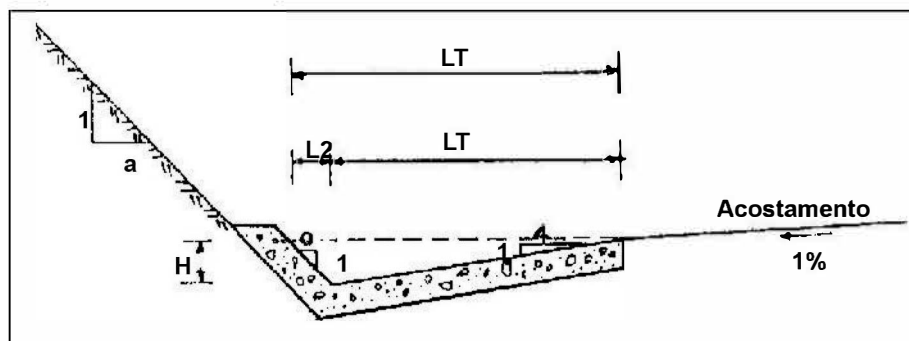



Fig 5-7.

(2) Trapezoidal (Fig 5-8 e 5-9): quando a sarjeta triangular de máximas dimensões for insuficiente para atender à vazão do projeto, adota-se a seção trapezoidal.

(a) Recomendações

1) será dotada de um meio-fio, para proteger eventuais viaturas desgovernadas. Este meio-fio terá abertura calculada, em espaçamento conveniente, permitindo a entrada da água proveniente da pista.

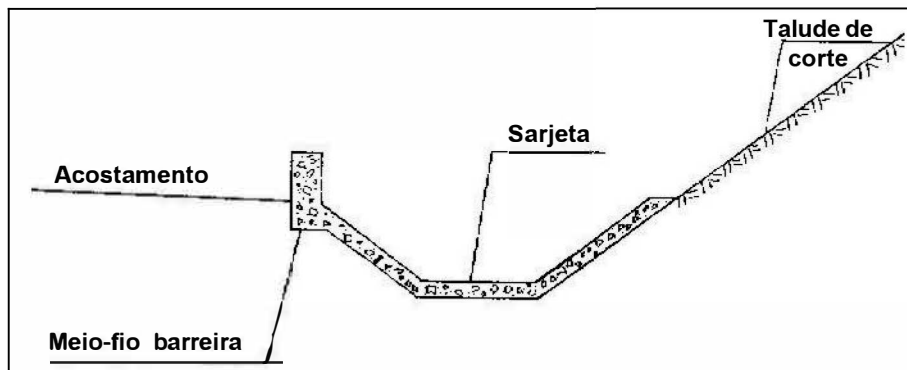



Fig 5-8.

2) poderá ser, também, capeada descontinuamente, de modo a permitir a entrada d'água pela cobertura existente entre duas placas consecutivas, que têm objetivo de evitar que a sarjeta seja obstruída.

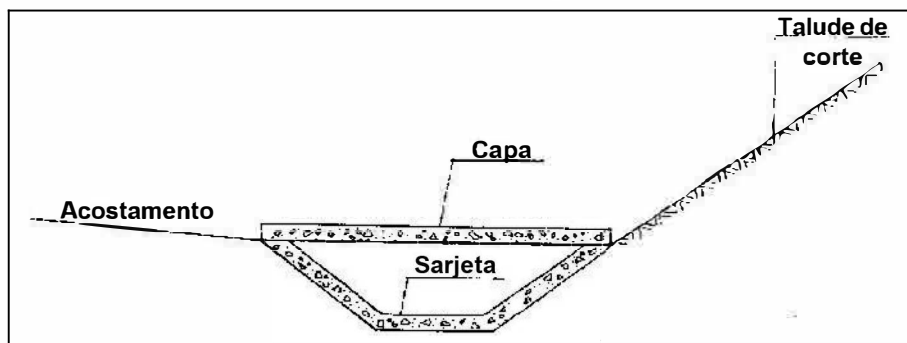



Fig 5-9.

(3) Retangular (Fig 5-10): é usada como opção à seção triangular ou no caso de cortes em rocha, pela facilidade de execução. É usado também o meio-fio com as mesmas finalidades citadas anteriormente. Possui a vantagem de poder variar sua profundidade ao longo do percurso, proporcionando uma declividade mais acentuada que o greide da rodovia, aumentado a sua vazão.

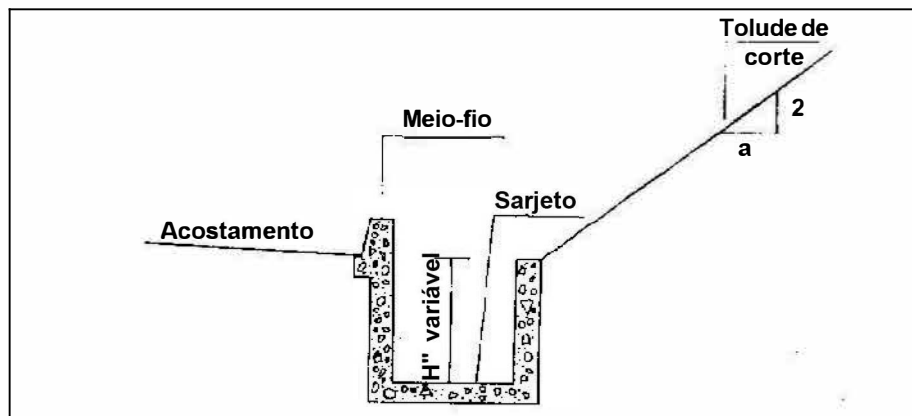



Fig 5-10.

5-7. SARJETAS DE ATERRO

Têm como objetivo captar as águas precipitadas sobre a plataforma de modo a impedir que provoquem erosões da borda do acostamento e/ou no talude de aterro, conduzindo-as para local seguro. (Fig 5-11)

a. Situações de uso:

(1) trechos onde a velocidade das águas provenientes da pista provoque erosão na borda da plataforma;

(2) trechos onde, em conjunto com a terraplanagem, for mais econômica a utilização da sarjeta, aumentando com isso a altura do aterro.

b. Tipos de seções transversais

(1) Triangular.
(2) Trapezoidal.
(3) Retangular.
(4) Outras.

c. Materiais mais indicados

(1) Concreto de cimento.
(2) Concreto betuminoso (binder).
(3) Solo betume.
(4) Solo cimento.
(5) Solo (rod. secundárias).

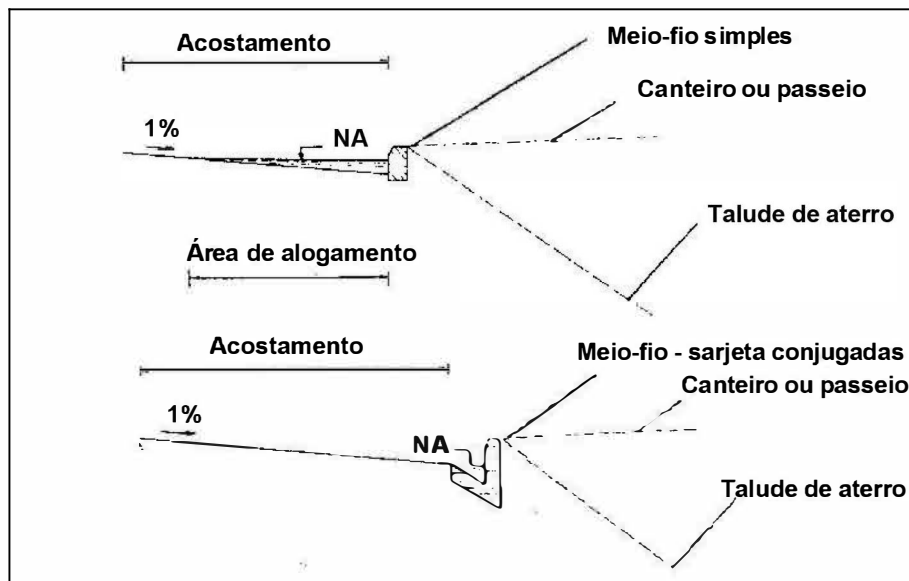



Fig 5-11.

5-8. DESCIDAS D'ÁGUA

a. Têm como objetivo conduzir as águas captadas por outros dispositivos de drenagem, pelos taludes de corte e de aterro.

b. Nos cortes, têm como objetivo principal conduzir as águas das valetas quando atingem seu comprimento crítico, ou de pequenos talvegues, desaguando numa caixa coletora ou na sarjeta de corte.

c. Nos aterros, conduzem as águas provenientes das sarjetas de aterro quando é atingido seu comprimento crítico, e nos pontos baixos, através das saídas d’água, desaguando no terreno natural.

d. Também atendem, no caso de cortes e aterros, às valetas de banquetas quando é atingido seu comprimento crítico e em pontos baixos.

e. Não raramente, devido à necessidade de saída de bueiros elevados, desaguando no talude do aterro, as descidas d’água são necessárias visando conduzir o fluxo pelo talude até o terreno natural.

f. Posicionam-se sobre os taludes dos cortes e aterros seguindo as suas declividades e também na interseção do talude de aterro com o terreno natural, nos pontos de passagem de corte-aterro.

g. Podem ser do tipo rápido ou em degraus. A escolha entre um e outro tipo será função da velocidade limite do escoamento, para que não provoque erosão,

das características geotécnicas dos taludes, do terreno natural, da necessidade da quebra de energia do fluxo d'água e dos dispositivos de amortecimento na saída.

h. Tipos de seção de vazão:

(1) retangular, em calha (tipo rápido) ou em degraus;
(2) semicircular ou meia cana, de concreto ou metálica;
(3) em tubos de concreto ou metálicos.

i. É desaconselhável a seção de concreto em módulos, pois a ação dinâmica do fluxo pode acarretar o descalçamento e o desjuntamento dos módulos, vindo a erodir o talude.

5-9. SAÍDAS D'ÁGUA (OU ENTRADAS D'ÁGUA)

a. São dispositivos destinados a conduzir as águas coletadas pelas sarjetas de aterro para as decidas d'água (Fig 5-12)

b. Localizam-se na borda da plataforma, junto aos acostamentos ou em alargamento próprios para sua execução, nos pontos onde é atingido o comprimento crítico da sarjeta, nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, junto às pontes, pontilhões e viadutos e, algumas vezes, nos pontos de passagem de corte para aterro.

c. Devem ter uma seção tal que permita uma rápida captação das águas que escoam pela borda da plataforma conduzindo-as às descidas d'água. Um rebaixamento gradativo da seção é um método eficiente de captação.

d. Considerando sua localização, devem ser projetadas obedecendo aos seguinte critérios:

(1) greide de rampa: fluxo de água num único sentido;
(2) curva vertical côncava (ponto baixo): fluxo de água em dois sentidos, convergindo para um ponto baixo.

e. Quanto ao revestimento, podem ser concreto com superfície lisa ou de chapas metálicas.

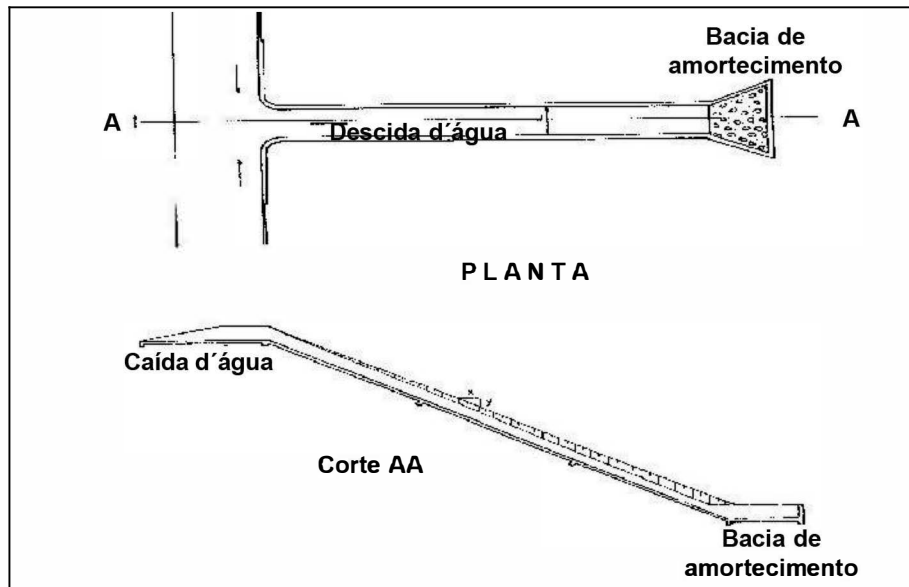



Fig 5-12. Descida d’água

5-10. CAIXAS COLETORAS

a. Têm como objetivos principais:

(1) coletar as águas provenientes das sarjetas e que se destinam aos bueiros de greide;

(2) coletar as águas provenientes de áreas situadas a montante de bueiros de transposição de talvegue, permitindo sua construção abaixo do terreno natural;

(3) coletar as águas provenientes das descidas d’água de cortes, conduzindo-as ao dispositivo de deságüe seguro;

(4) permitir a inspeção dos condutos que por elas passam, a fim de se verificar sua funcionalidade e eficiência; e

(5) possibilitar mudanças de dimensão de bueiros, de sua declividade e direção.

b. Quanto a sua função, podem ser: caixas coletoras, caixas de inspeção ou caixas de passagem e, quanto ao fechamento, podem ser com tampa ou abertas.

c. As caixas coletoras localizam-se:

(1) nas extremidades dos comprimentos críticos das sarjetas de corte, conduzindo as águas para o bueiro de greide ou coletor longitudinal;

(2) nos pontos de passagem de cortes para aterros, coletando as águas das sarjetas de modo a conduzi-las para o bueiro nos casos em que as águas, ao atingirem o terreno natural, possam provocar erosões;

(3) nas extremidades das descidas d'água de corte quando se torna necessária a condução das águas desse dispositivos para fora do corte sem a utilização das sarjetas;

(4) no terreno natural, junto ao pé do aterro, quando se deseja construir um bueiro de transposição de talvegues abaixo da cota do terreno, sendo, portanto, inaplicável à boca;

(5) nos canteiros centrais das rodovias com pista dupla; e

(6) em qualquer lugar onde se torne necessário captar as águas superficiais, transferindo-as para os bueiros.

d. As caixas de passagem localizam-se:

(1) nos locais destinados a vistoriar os condutos construídos tendo em vista verificar sua eficiência hidráulica e seu estado de conservação;

(2) nos trechos com drenos profundos com o objetivo de vistoriar seu funcionamento.

e. As caixas com tampa, em forma de grelha, são indicadas quando tem a finalidade coletora, ficando localizadas em pontos que possam afetar a segurança do tráfego ou se destinem a coletar águas contendo sólidos em dimensões apreciáveis que possam obstruir os bueiros ou coletores.

f. As caixas com tampa removível são indicadas quando têm a finalidade de inspeção e de passagem.

g. As caixas abertas são indicadas quando têm finalidade coletora e localizam-se em pontos que não comprometam a segurança do tráfego.

5-11. BUEIROS DE GREIDE

São dispositivos destinados a conduzir as águas captadas pelas caixas coletoras para locais de deságüe seguro.

a. Localização:

(1) nas extremidades dos comprimentos críticos das sarjetas de corte em seção mista ou quando, em seção de corte pleno, for possível o lançamento da água coletada através de janela de corte. Nos cortes em seção plena, quando não for possível o aumento da capacidade da sarjeta ou a utilização de abertura de greide longitudinal à pista, até o ponto de passagem de corte-aterro;

(2) nos pés das descidas d'água dos cortes, recebendo as águas das valetas de proteção de corte e/ou valetas de banquetas, captadas por caixas coletoras;

(3) nos pontos de passagem corte-aterro, evitando-se que as águas provenientes das sarjetas de corte deságüe no terreno natural com possibilidade de erodi-lo; e

(4) nas rodovias de pista dupla, conduzindo ao deságüe as águas coletadas dos dispositivos e drenagem do canteiro central.

b. Os bueiros de greide podem ser implantados transversal ou longitudinalmente ao eixo da rodovia, com alturas de recobrimento atendendo à resistência de compressão estabelecida para as diversas classes de tubo.

5-12. DISSIPADORES DE ENERGIA

São destinados a dissipar energia do fluxo d'água reduzindo sua velocidade, quer no escoamento através do dispositivo de drenagem, quer no deságüe para o terreno natural.

a. Classificam-se em dois grupos:

(1) Bacias de amortecimento (dissipadores localizados) - Têm o objetivo de, mediante a dissipação de energia, diminuir a velocidade da água quando esta passa de um dispositivo de drenagem superficial qualquer para o terreno natural, de modo a evitar a erosão (Fig 5-13). Serão instaladas nos seguintes locais:

(a) no pé das descidas d'água nos aterros;

(b) na boca de jusante dos bueiros;

(c) na saída das sarjetas de corte, nos pontos de passagem corte-aterro.

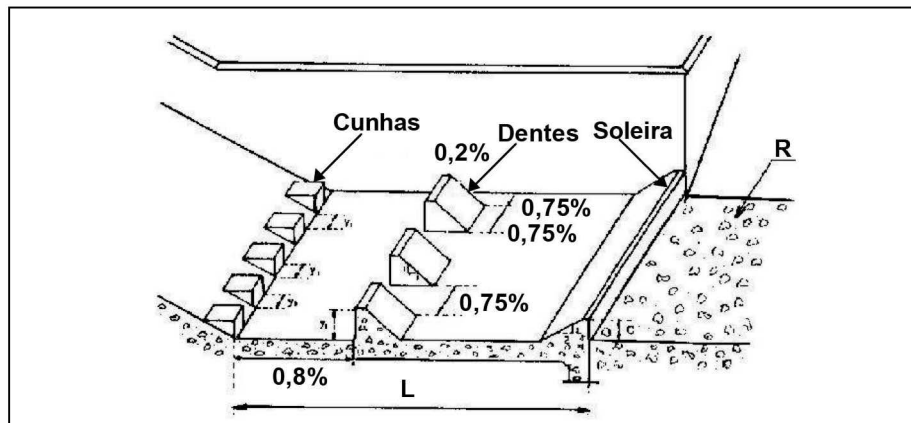



Fig 5-13. Bacia de amortecimento

(2) Dissipadores contínuos - Têm como objetivo diminuir a velocidade da água, continuamente, ao longo de seu percurso, de modo a evitar a erosão em locais que possa comprometer a estabilidade do corpo estradal. Localizam-se, em geral, nas descidas d'água, na forma de degraus ou cascatas, e ao longo do aterro, de forma que a água precipitada sobre a plataforma seja conduzida pelo talude, de forma contínua, sem criar preferências e, portanto, não o afetando.

5-13. ESCALONAMENTO DE TALUDES

a. Tem como objetivo evitar que as águas precipitadas sobre a plataforma e sobre os taludes, atinjam, através do escoamento superficial, uma velocidade acima dos limites de erosão dos materiais que os compõem. (Fig 5-14)

b. As banquetas, nesse caso, são providas de dispositivos de captação de águas - as sarjetas de banqueta - que conduzirão as águas ao deságüe seguro.

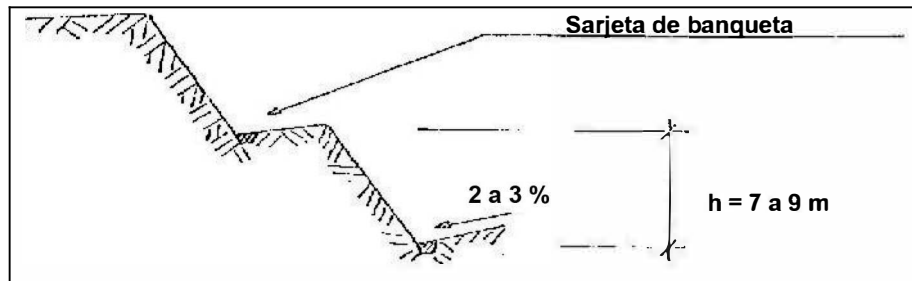



Fig 5-14. Escalonamento de talude

5-14. CORTA-RIOS

a. São canais de desvios abertos (Fig 5-15 e 5-16) com a finalidade de:

(1) evitar que um curso d'água existente interfira seguidamente com a diretriz da rodovia, obrigando a construção de sucessivas obras de transposição de talvegues;

(2) afastar as águas que ao serpentear em torno da diretriz da estrada, coloquem em risco a estabilidade dos aterros;

(3) melhorar a solução técnica para a diretriz da rodovia.

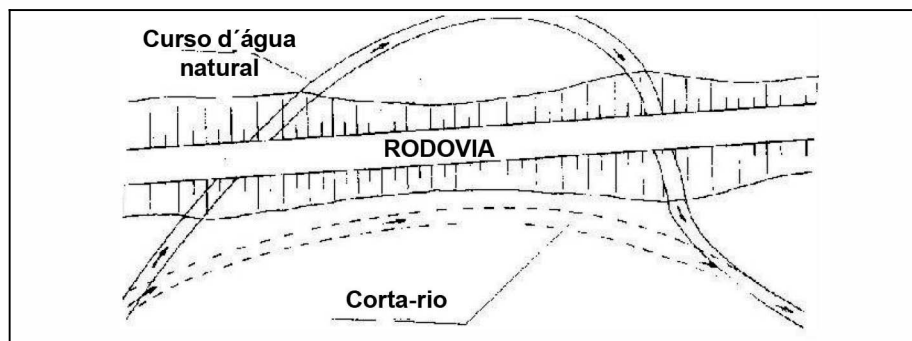



Fig 5-15. Corta-rio

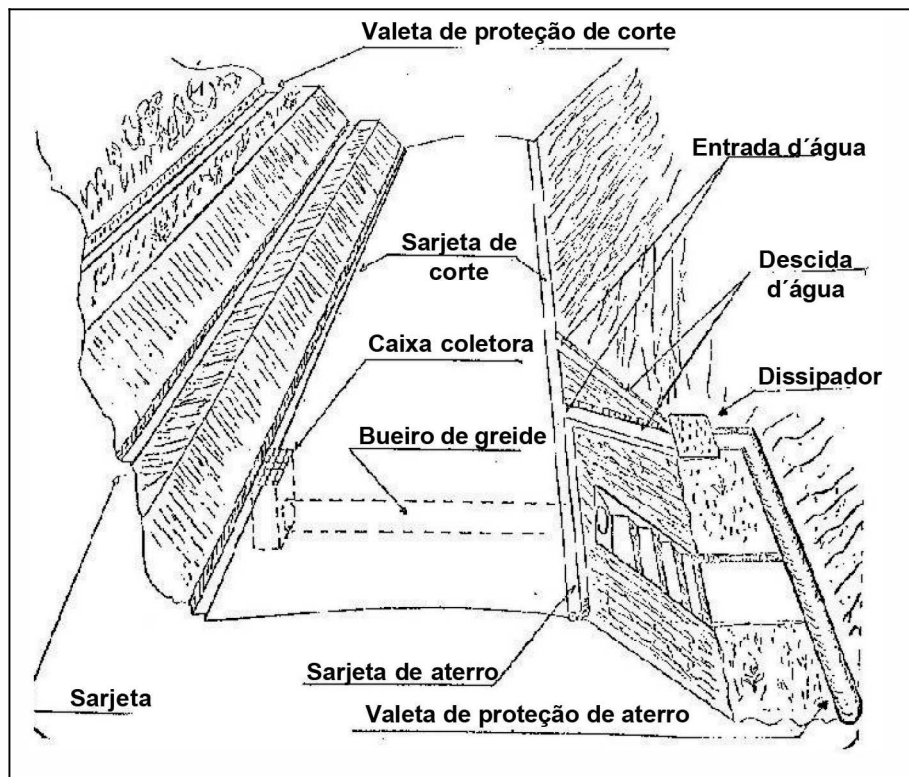



Fig 5-16. Ilustração dos dispositivos de drenagem superficial

ARTIGO III

DRENAGEM SUBTERRÂNEA OU PROFUNDA

5-15. FINALIDADE

a. A execução de obras de drenagem subterrânea, por sua complexidade, deve ser atribuição exclusiva dos BE Cnst/Ex Cmp.

b. Destina-se a drenar as águas existentes abaixo da superfície do terreno natural, interceptando o escoamento das águas subterrâneas na direção da estrada ou rebaixando o nível do lençol freático, visando impedir que as águas atinjam a plataforma, diminuindo a capacidade de suporte do subleito.

c. Geralmente procura-se manter o lençol freático à profundidade de 1,5 a 2 m do subleito das rodovias, dependendo do tipo de solo da área considerada.

5-16. EXIGÊNCIAS DE PROJETO

a. Os projetos de drenagem subterrânea exigem:

(1) conhecimento da topografia da área;

(2) observação geológica e pedológicas com obtenção de amostras dos solos por meio de sondagem;

(3) conhecimento da pluviometria da região (recursos da hidrologia).

b. Sondagem: As sondagens devem ser feitas no pé dos taludes. O diâmetro mínimo dos furos é de 10 cm. A profundidade deve atingir entre 1,5 a 2 m e o número de furos necessários consta da Tab 5-1:

Número mínimo de furos	
Corte > 90 m	**02 (dois), nas extremidades 01 (um), a cada 30 m**
Corte < 90 m	**02 (dois), nos terços**
Corte < 50 m	**01 (um), no meio**

Tab 5-1

(1) Devem ser executadas após a época das chuvas.

(2) A verificação da presença de água deverá ser feita imediatamente após a execução da sondagem e, posteriormente, após 24 horas.

(3) A presença de água ou umidecimento exagerado na parte inferior do furo indica a necessidade de drenagem subterrânea.

c. Dispositivos de drenagem subterrânea

(1) Drenos profundos.

(2) Drenos espinha de peixe.

(3) Colchão drenante.

(4) Drenos horizontais profundos.

(5) Valetões laterais.

5-17. DRENOS PROFUNDOS

a. Objetivo - Interceptar o fluxo da água subterrânea através do rebaixamento do lençol freático, impedindo-o de atingir o subleito.

b. Materiais (de acordo com as suas funções):

(1) filtrantes: areia, agregado britado, geotextil.

(2) drenantes: britas, cascalhos.

(3) condutores (tubos): de concreto (poroso ou perfurando), cerâmicos (perfurados), fibrocimento ou plásticos. (Fig 5-18 e 5-19)

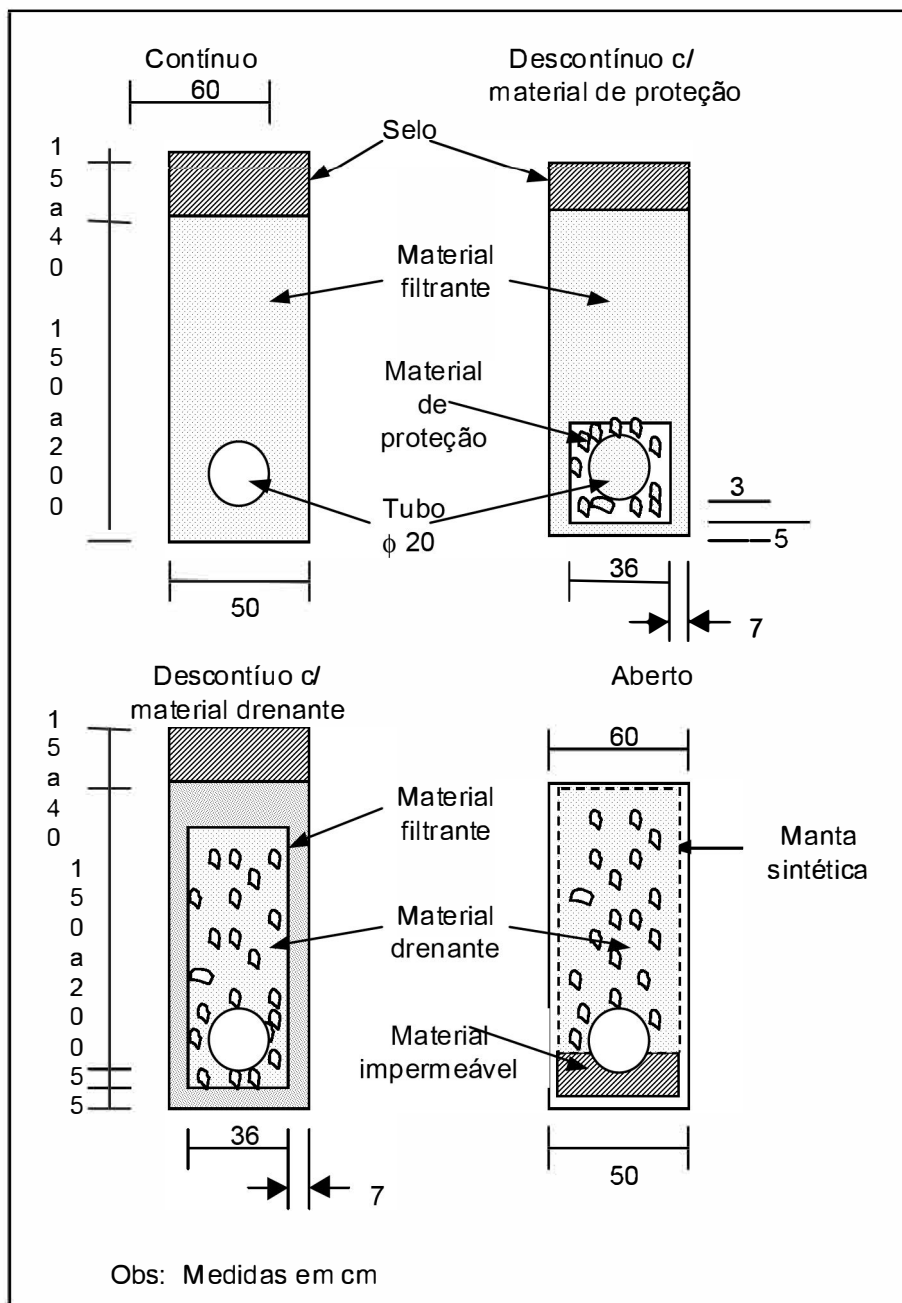



Fig 5-17. Drenos profundos com tubo

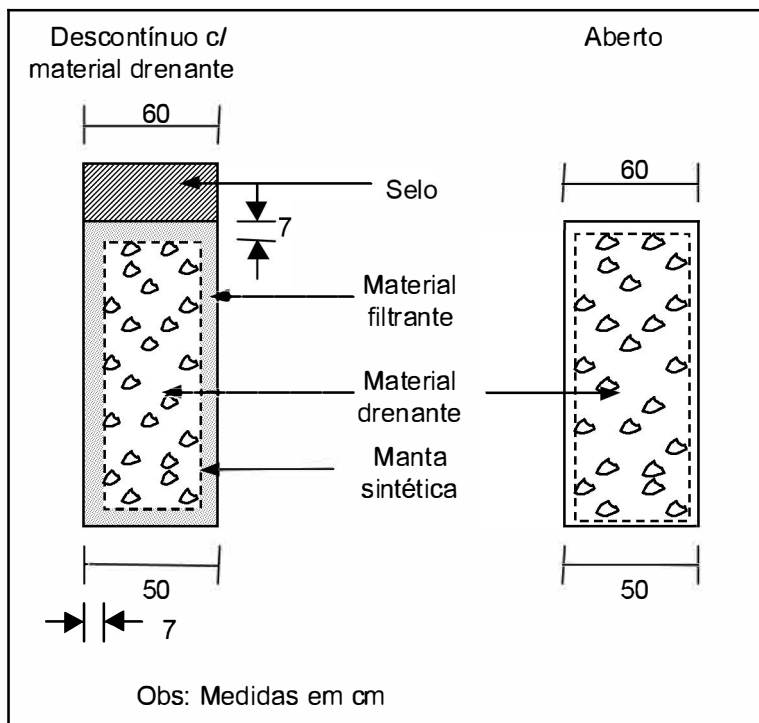



Fig 5-18. Drenos profundos sem tubo

OBSERVAÇÃO: Há casos em que não são colocados tubos no interior dos drenos. São os chamados "drenos cegos" (dreno francês), que são utilizados quando o volume de água a drenar é pequeno e a extensão do dreno é reduzida, face a sua baixa capacidade drenante. Nese caso, a E Bda tem condições de realizar o serviço, com a utilização de recursos locais.

c. Localização - Serão instalados nos locais onde haja necessidade de interceptar e rebaixar o lençol freático, geralmente nas proximidades dos acostamentos:

(1) nos cortes, recomenda-se que sejam instalados, no mínimo, a 1,5 m do pé dos taludes, para evitar futuros problemas de instabilidade. (Fig 5-20 e 5-21);

(2) nos aterros, quando ocorrer a possibilidade de aparecimento de água livre, bem como quando forem encontradas camadas permeáveis sobrepostas à outras impermeáveis, mesmo sem a presença de água, na ocasião da pesquisa do lençol freático;

(3) nos terrenos planos que apresentem lençol freático próximo do subleito.

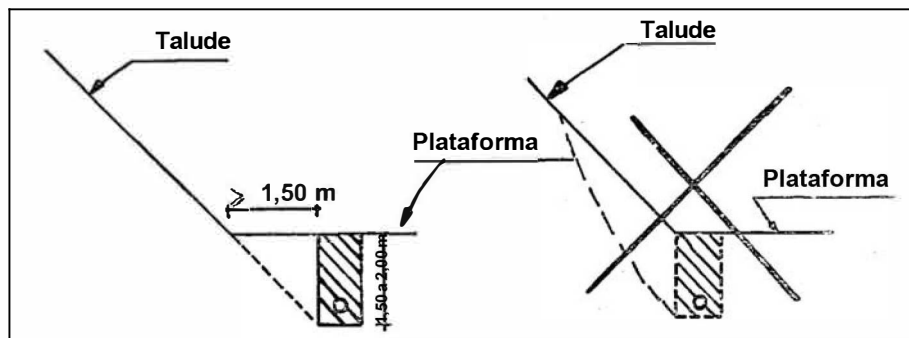



Fig 5-19. Posicionamento dos drenos profundos

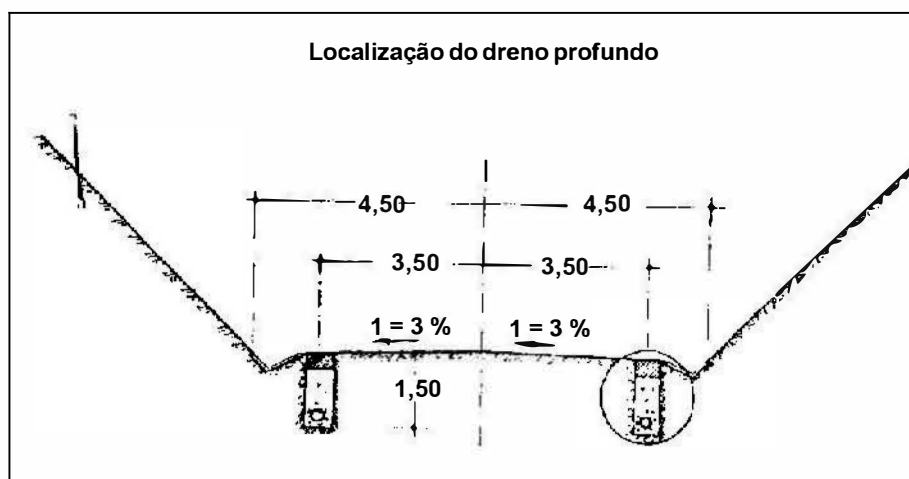



Fig 5-20. Localização dos drenos profundos

d. Constituição:

(1) vala;
(2) materiais drenantes;
(3) materiais filtrantes;
(4) tubos dreno;
(5) juntas;
(6) caixas de inspeção; e
(7) estruturas de deságüe.

OBSERVAÇÃO: Nos casos de drenos com tubos podem ser utilizados envoltórios drenantes e/ou filtrantes constituídos de materiais naturais e sintéticos. (Fig 5-21)

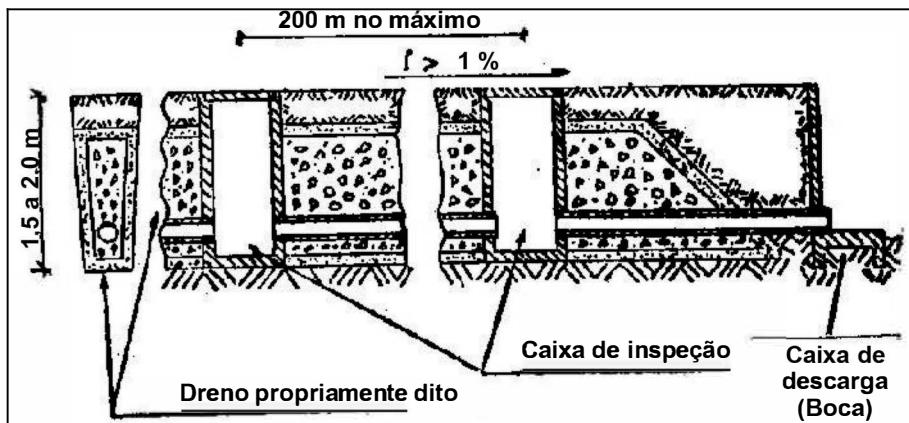



Fig 5-21.

e. Valas

(1) Devem ter, no fundo, uma largura mínima de 50 cm e de boca, a largura do fundo mais 10 cm.

(2) Sua altura depende da profundidade do lençol freático que pode chegar a 1,5 m, ou no máximo 2 m.

f. Material de enchimento (filtrante e/ou drenante)

(1) A função do material filtrante é a de permitir o escoamento da água sem carrear finos, evitando a colmatação do dreno.

(2) A função do material drenante é a de captar e ao mesmo tempo conduzir as águas a serem drenadas.

g. Tubos

(1) Podem ser de concreto, de cerâmica, de fibrocimento, de plástico rígido ou flexível corrugado e metálicos.

(2) Os diâmetros variam de 10 a 25 cm e, quando de plásticos, 5 a 20 cm.

(3) Os de concreto podem conter furos com diâmetros de 6 a 10 cm, e os de plásticos flexíveis corrugados utilizam ranhuras de 0,6 a 10 mm.

(4) Nos casos especiais de terrenos altamente porosos ou rochas com fendas amplas deverão ser instalados tubos com furos voltados para cima.

(5) A posição dos furos, voltados para cima, exige que se encha a base da vala do dreno com material impermeável até a altura dos furos iniciais, na outra condição deve-se colocar um colchão filtrante no fundo da vala.

(6) No caso de tubos plásticos corrugados flexíveis, por serem totalmente ranhurados, não há necessidade de direcionar as aberturas de entrada da água.

h. Colocação - De montante para jusante com a bolsa voltada para montante. (Fig 5-22)

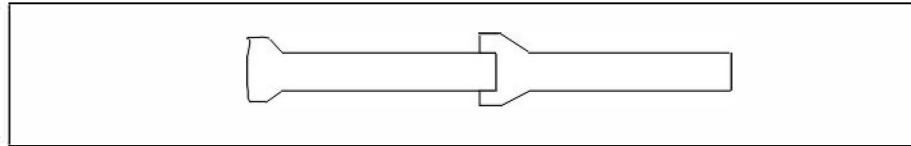



Fig 5-22. Colocação

i. Dreno propriamente dito

(1) Partes do dreno - (Fig 5-23)

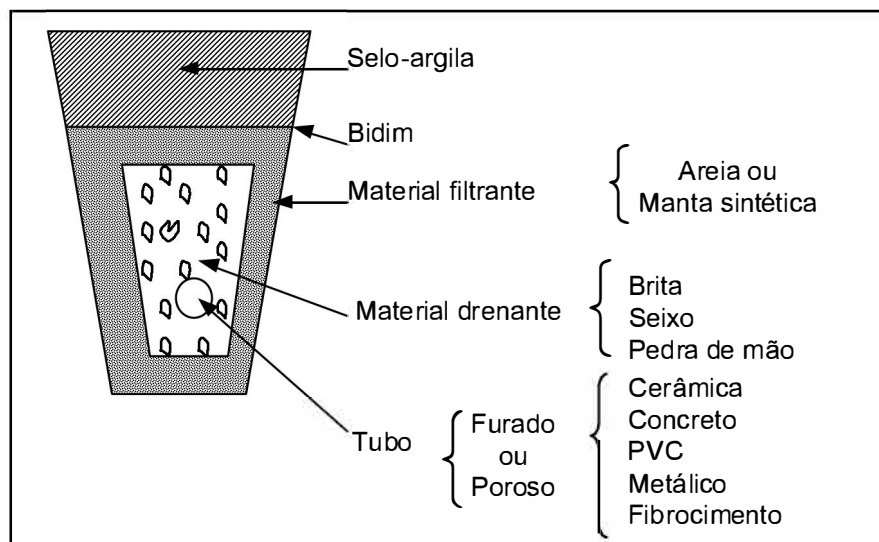



Fig 5-23. Partes do dreno

(2) Tipos de drenos

(a) cegos — selado — Contínuo (um só material de enchimento)

(b) c/ tubo — aberto — Descontínuo (dois materiais de enchimento)

5-18. DRENOS ESPINHA DE PEIXE

a. São destinados à drenagem de grandes áreas pavimentadas ou não. São usados em série, em sentido oblíquo em relação ao eixo longitudinal da rodovia, ou área a drenar.

b. Geralmente são de pequena profundidade e, por este motivo, sem tubos, embora possam eventualmente ser usados com tubos.

c. Emprego

(1) Em cortes, quando os drenos longitudinais não forem suficientes para a drenagem da área.

(2) Em terrenos que receberão aterros e nos quais o lençol freático estiver próximo da superfície.

(3) Nos aterros, quando o solo natural for impermeável.

d. Conforme as condições existentes podem desaguar livremente ou em drenos longitudinais. (Fig 5-24)

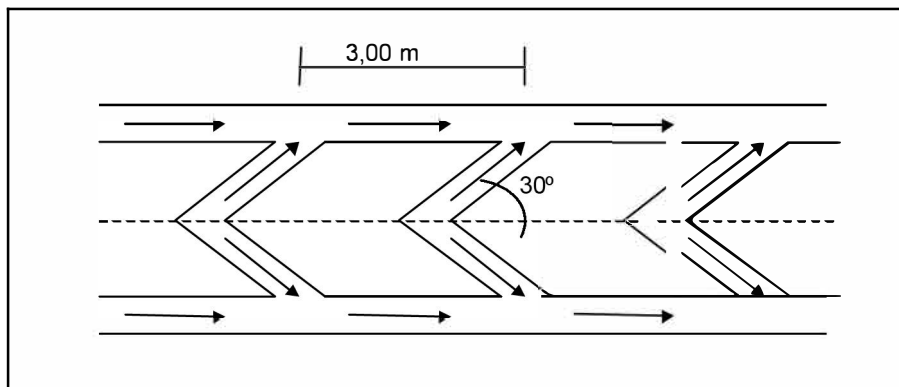



Fig 5-24. Drenos espinha de peixe

5-19. COLCHÃO DRENANTE

a. Tem o objetivo de drenar as águas existentes situadas à pequena profundidade do corpo estradal, quando forem de volume tal que não possam ser drenadas pelos drenos “espinha de peixe”. São usadas: (Fig 5-25)

(1) nos cortes em rochas;

(2) nos cortes em que o lençol freático estiver próximo do greide da terraplanagem;

(3) na base dos aterros onde houver água livre próximo do terreno natural; e

(4) nos aterros executados sobre terrenos impermeáveis.

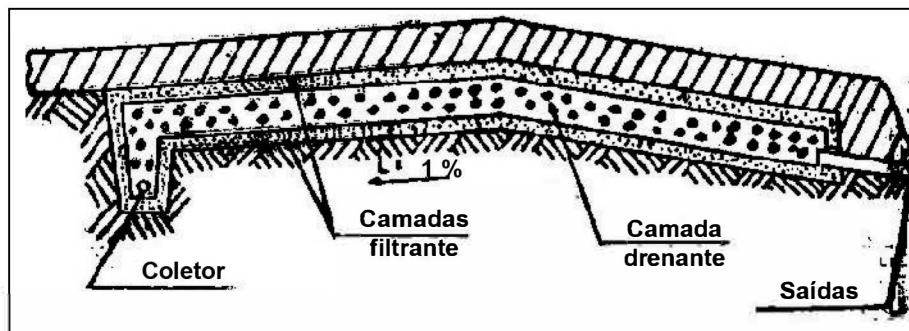



Fig 5-25. Colchão Drenante

5-20. DRENOS HORIZONTAIS PROFUNDOS

a. São dispositivos cravados no maciços ou taludes dos cortes com a finalidade de drená-los para, assim, reduzir a pressão neutra, evitando os deslizamentos.

c. É um eficiente dispositivo na eliminação da água que está saturando um talude ou encosta, retida pela ocorrência de camadas de solos impermeáveis. (Fig 5-26)

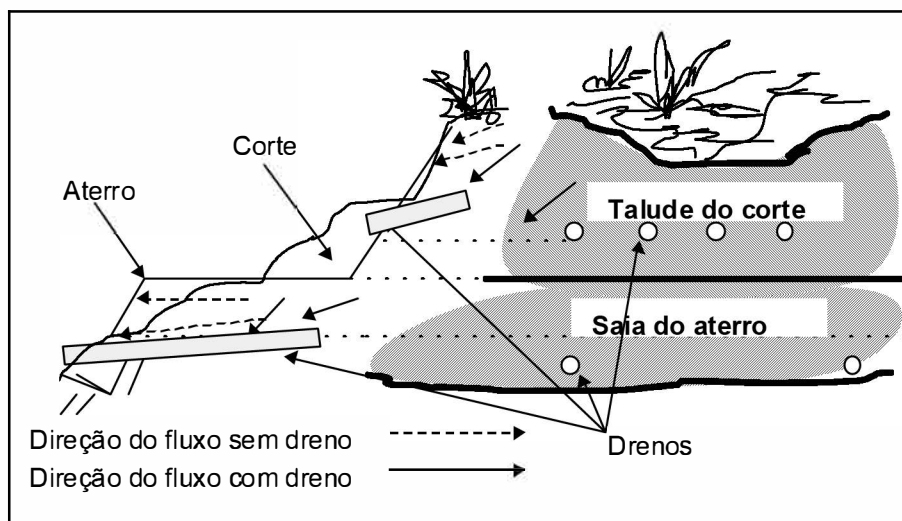



Fig 5-26. Drenos Horizontais Profundos

c. Esquema de dreno horizontal profundo. (Fig 5-27)

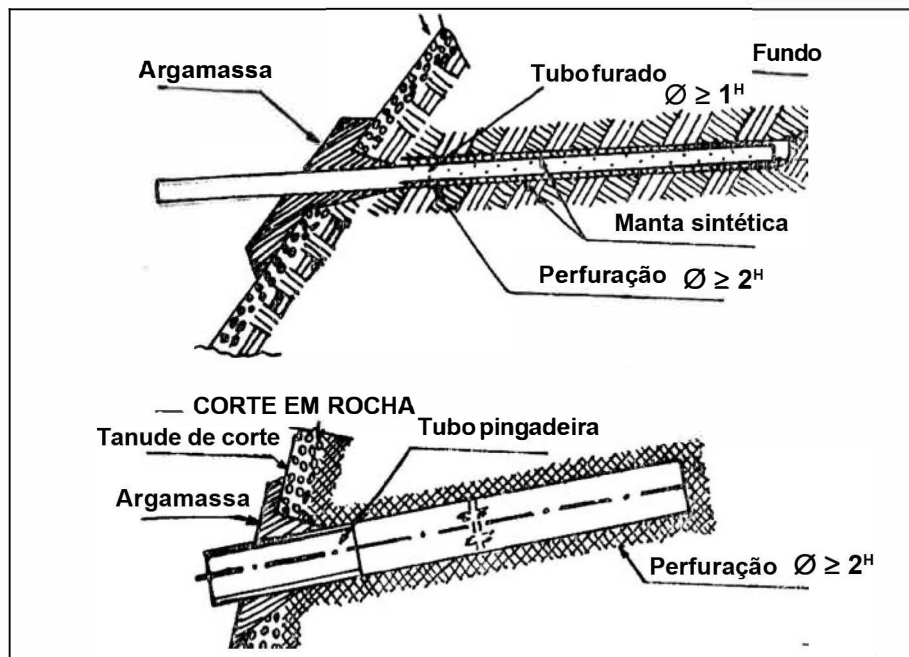



Fig 5-27.

5-21. VALETÕES LATERAIS

a. São valas abertas a partir do bordo do acostamento, sendo constituído, de um lado, pelo acostamento e do outro pelo próprio talude de corte, com a finalidade de substituir os dispositivos de drenagem superficial e subterrânea.

b. Apesar da economia, a estrada ficará sem acostamento confiável na época das chuvas e nos tempos secos terá um acostamento perigoso, face à rampa necessária, a não ser que haja alargamentos substanciais, o que equivale dizer que os valetões laterais irão funcionar independentemente da plataforma da rodovia.

c. Porém, em regiões planas, podem exercer sua dupla função sem dificuldade, podendo trabalhar como sarjeta e dreno profundo, ao mesmo tempo.

d. É recomendado o revestimento dos taludes do canal com gramíneas. Sua profundidade será de 1,5 a 2 m e os taludes de 3/2, quando possível. (Fig 5-28 e 5-29)

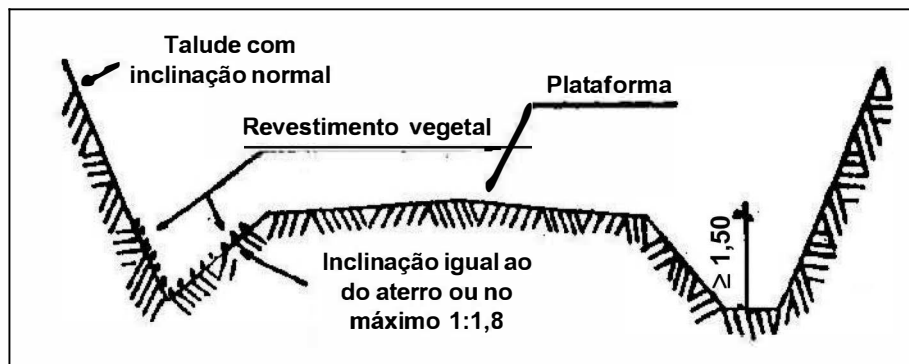



Fig 5-28.

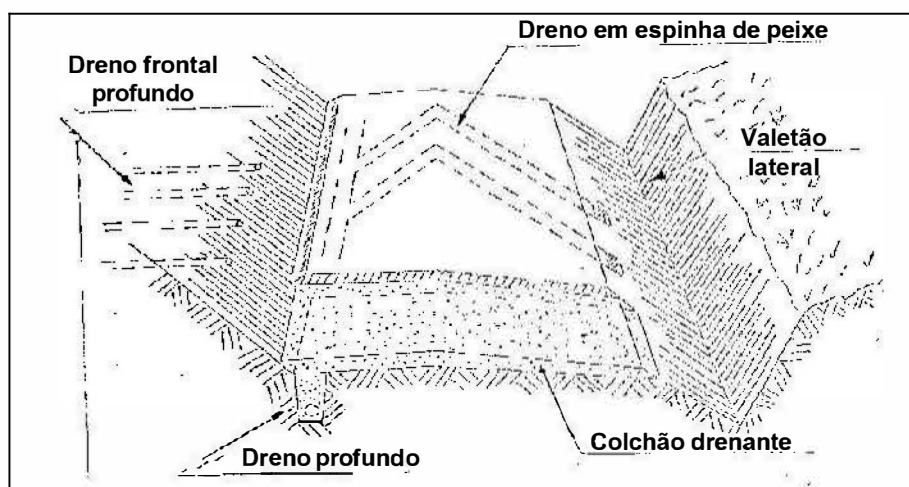



Fig 5-29.

ARTIGO IV

DRENAGEM DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES (BUEIROS)

5-22. INTRODUÇÃO

As obras para transposição dos talvegues podem ser bueiros, pontes e pontilhões. Os bueiros permitem a livre passagem das águas que possam interferir na circulação da estradas. Compõem-se de corpo e bocas.

a. Corpo - parte situada sob os cortes e aterros.

b. Bocas - constituem o arremate, à montante e à jusante. São compostas de soleira, muro de testa e alas. (Fig 5-31 e 5-32)

OBSERVAÇÃO: Se o nível da entrada da água na boca de montante estiver situado abaixo da superfície do terreno natural, a entrada será uma caixa coletora.

5-23. CLASSIFICAÇÃO DOS BUEIROS

a. Quanto à forma da seção:
(1) tubulares ou circular;
(2) celulares (retangular ou quadrado); e
(3) especial (arco, oval ou capeado).

b. Quanto ao número de linhas:
(1) simples;
(2) duplos; e
(3) triplos.

c. Quanto ao material:
(1) concreto simples;
(2) concreto armado; e
(3) chapas metálicas.

d. Quanto à esconsidade: a esconsidade é definida pelo ângulo formado entre o eixo longitudinal do bueiro e a normal ao eixo longitudinal da rodovia. Os bueiros podem ser:
(1) normais;
(2) esconsos.

5-24. LOCALIZAÇÃO DOS BUEIROS

a. Sob os aterros: procura-se lançar o bueiro na linha do talvegue. Não sendo possível, deve-se procurar uma locação esconsa que afaste o eixo do bueiro o mínimo possível da normal ao eixo da rodovia, tomando as devidas precauções para os deslocamentos dos canais de entrada e saída d’água do bueiro.

b. Nas bocas dos cortes: quando o volume de água dos dispositivos de drenagem, embora previstos no projeto, for tal que possa erodir o terreno natural nesses locais.

c. Nos cortes de seção mista: quando a altura da saia do aterro não for muito elevada, ou quando a capacidade das sarjetas torna-se insuficiente.

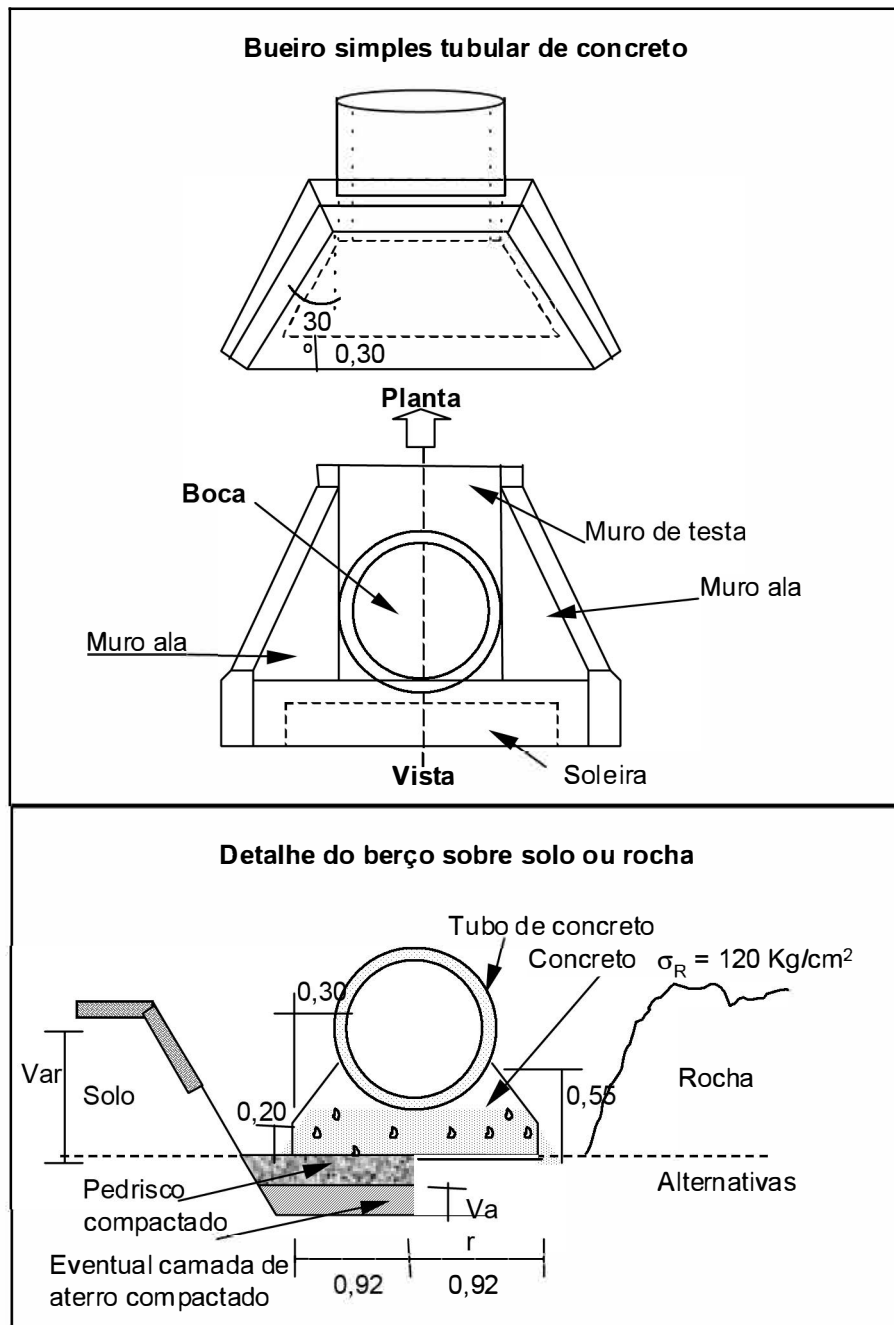



Fig 5-30. Bueiro simples tubular de concreto

Aterro compactado

CORTE A-A

CORTE B-B

Eixo da estrada

Aterro de enchimento

Cota de montante

cota de jusante

Berço

Comprimento total

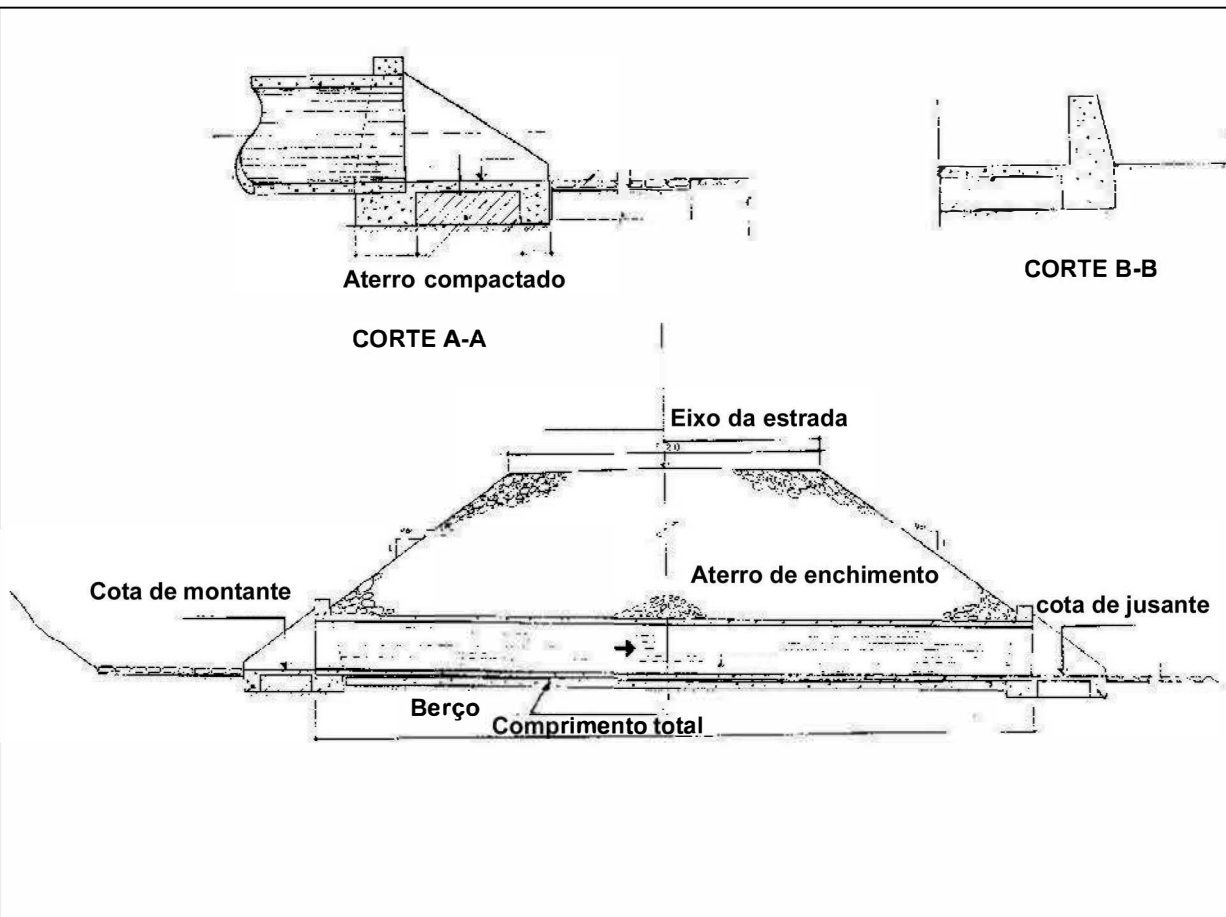



Fig 5-31. Visita em corte de um bueiro

5-25. ELEMENTOS DE PROJETO

a. Levantamento topográfico e respectiva planta - O projeto deverá ter curvas de nível, de metro em metro, em grau de detalhamento e sobre a planta resultante deverá ser projetado o bueiro.

b. Pesquisa da declividade e estudos geotécnicos - A declividade do bueiro deverá variar entre 0,4 a 5 %. Quando superior a 5 %, deverá ser projetado em degraus e ter o berço com dentes de fixação.

(1) A declividade, quando não é uma imposição do projeto, é de escolha do projetista.

(2) Quando a velocidade do escoamento na boca de jusante for superior à recomendada para a natureza do terreno natural existente, devem ser previstas bacias de amortecimento.

(3) Os estudos geotécnicos (sondagens) terão o objetivo de avaliar, quando necessário, a capacidade de suporte do terreno natural, principalmente nos casos de aterros altos e em locais de provável presença de solos compressíveis.

c. Seção transversal - O cálculo da seção de vazão do bueiro, dependerá de alguns elementos básicos:

(1) Área da bacia de contribuição - Deve-se delimitar a bacia e calcular a sua área, em hectares, através de cartas topográficas, fotografias. Deve-se obter os seguintes dados:

(a) comprimento máximo da bacia;

(b) declividade média da bacia; e

(c) natureza do terreno e coberturas vegetal.

(2) Tempo de concentração na bacia (tc) - É o tempo necessário para o escoamento de uma partícula de água, desde o ponto mais afastado da bacia até a obra de arte. Dimensiona-se o bueiro para uma chuva de duração igual ao tempo de concentração. Para sua determinação utiliza-se fórmulas empíricas.

(3) Chuva de projeto (mm/h) - A chuva de projeto será a máxima para um determinado período (tempo de recorrência de 10 a 25 anos). Existem várias fórmulas empíricas que determinam a intensidade da chuva máxima, considerando o tempo de recorrência e a sua duração (tc).

(4) Vazão de contribuição - A partir dos dados anteriormente obtidos, a vazão poderá ser calculada usando-se: fórmulas empíricas, o método racional ou a fórmula de Talbot, apresentada a seguir:

$$A = 0,183 \cdot C \cdot \sqrt{M^3}$$

Onde:

A: área da seção transversal do bueiro em m2;

M: área da bacia em Ha;

C: coeficiente de deflúvio. (Tab 5-2)

Tipos de Terrenos	C (Coeficiente de deflúvio)
Terrenos inclinados rochosos e de rampas	1
Terrenos ásperos, montanhosos, de rampas suaves	2/3
Bacias irregulares, muito largas em relação ao comprimento	1/2
Bacias agrícolas onduladas, comprimento com 3 (três) a 4 (quatro) vezes o valor da largura	1/3
Bacias planas não expostas a fortes inudações	1/5

Tab 5-2

(1) Escolha da seção e do tipo de bueiro - Os limites econômicos, em ordem crescente, são:

(a) BTTC Æ 1,5 m; (bueiro triplo tubular de concreto)

(b) BTCC 3 x 3 m; (bueiro triplo celular de concreto)

(c) Ponte.

(2) Exemplo de dimensionamento de bueiro utilizando a fórmula de Talbot: calcular a área de vazão e o Nr de bueiros tubulares Æ 1.000 m, cuja bacia de contribuição tem 6,00 ha e terreno áspero, montanhoso e de rampas suaves. Caso seja inviável utilizar bueiro celular.

Solução:

M = Área da Bacia em ha ∴ M = 600 ha

C => terreno áspero, montanhosos e de rampas suaves ∴ C = 2/3

1. $A = 0{,}183 \cdot C \cdot \sqrt{M^3}$ ⟹ $A = 0{,}183 \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{600^3} = 14{,}8m^2$

2. Quantidade de tubos:

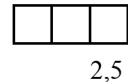
Área de um tubo a 2/3 de seção 2/3 (segurança)

$$A_1 tubo = \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi \cdot 1^2}{4} = 0{,}52m^2$$

$n = \frac{14}{0{,}52} = 28$ Tubos, o que é inviável tecnicamente.

3. Tentativas para usar bueiro celular

3.1- BSCC - 2,5 x 3,0 m (3,0 ; 2,5)

A = 2/3 x 2,5 x 3,0 = 5,0 m^2

Sol_1 : ⇒ 3 x 5,0 m^2 = 15,0 m^2 ⇒ BTCC - 2,5 x 3,0 (3,0 ; 2,5)

3.2- BSCC - 3.0 x 3,5 (3,5 ; 3,0)

A = 2/3 x 3 x 3,5 = 7,0 m^2 ⇒ 2 x 7,0 m^2 = 14,0 m^2 ⇒ BDCC - 3,0 x 3,5

Sol_2: (3,5 ; 3,0)

d. Determinação do comprimento do bueiro - Nos bueiros com posição "normal" à rodovia, a determinação do comprimento da obra se faz de maneira simples através da gabaritagem normal da seção de projeto levantada no local da travessia, a partir da cota do greide na estaca de localização. Nas travessias esconsas, as extensões sob a plataforma e sob os taludes são alongadas. Com a largura da plataforma esconsa (Le) e a inclinação normal do talude 1:a (V:H), gabarita-se a seção de um bueiro esconso. Sobre a seção gabaritada traça-se o perfil ao longo do eixo do bueiro, definindo seu comprimento, folgas e posicionamento das alas, bem como a altura do aterro sobre o bueiro e valas, e descidas d'água porventura necessárias.

(1) Bueiros - Determinação do comprimento e locação das bocas esconsas. (Fig 5-32)

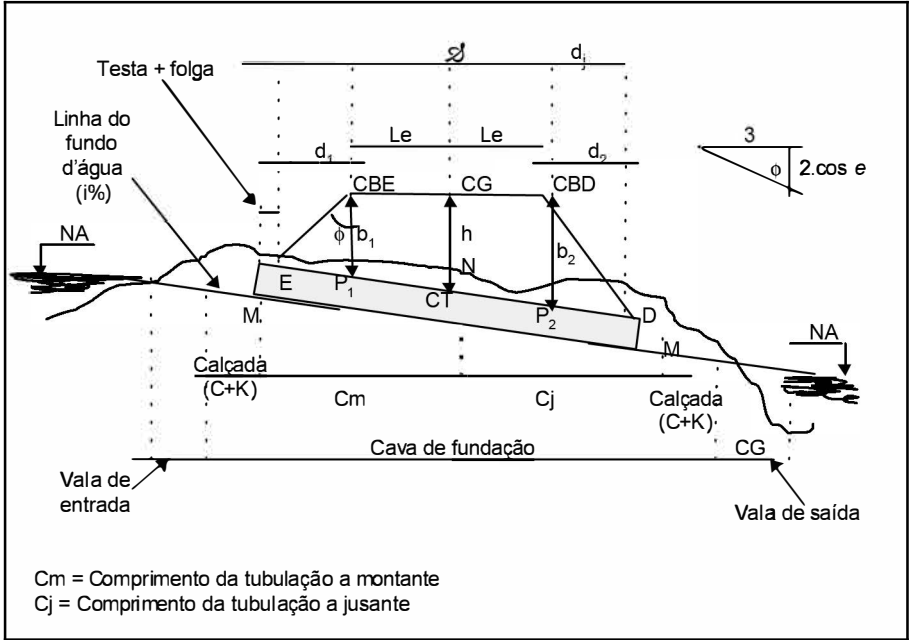



Fig 5-32.

(2) Cálculo da Largura "Le" da Plataforma (Fig 5-33)

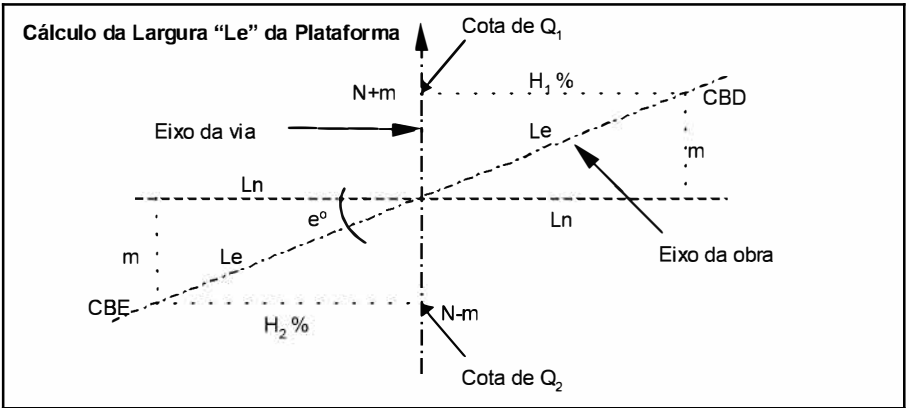



Fig 5-33.

(a) Marcha do Cálculo

(1) Determinam-se os elementos do projeto: CP, CT, CG, i% e h.

(2) Calcula-se a largura da semiplataforma normal:

$$L_n = \frac{L}{2} + A$$

(3) Calcula-se a largura da semi-plataforma esconsa, supondo-se a constante entre N-m e N+m:

(4) Determina-se o valor de segmento m (=Le . sen e), calculam-se as cotas Q1 e Q2 das estacas do eixo N+m e N-m correspondentes aos bordos BD e BE da plataforma esconsa.

$$L_e = \frac{L_n}{\cos e^0}$$

(5) Com base nas taxas de superelevação ± H1 e ± H2, correspondentes às estacas N+m e N-m, determinam-se as cotas dos bordos:

$$CBD = q_1 + (L_n \cdot H_1\%) \qquad CBE = q_2 + (L_n \cdot H_2\%)$$

(6) Desenhada a plataforma com os elementos assim determinados, traçam-se as saias do aterro com inclinação 2/3 . cos e , até encontrar nos pontos E e D a linha de topo da obra.

(7) O comprimento da tubulação será:

$$C_m = d_m + testa + folga \qquad C_j = d_j + testa + folga$$

OBSERVAÇÕES:

1 - Determinadas as cotas dos pontos P1 e P2, o cálculo do comprimento da obra poderá ser completado por via analítica, determinando-se os valores dos segmentos d1 e d2 pelas fórmulas:

$$d_1 = \frac{b_1}{\frac{2}{3} \cdot \cos e^0 + i\%} \qquad d_2 = \frac{b_2}{\frac{2}{3} \cdot \cos e^0 + i\%}$$

2 - No caso de obra em tangente, a plataforma pode ser considerada em nível.

e. Fundações - Os bueiros podem ser, sob o ponto de vista construtivo, Obra de Arte Corrente (OAC) ou Obra de Arte Especial (OAE) em face do seu tamanho e/ou condições adversas dos terrenos de fundação. Os bueiros tubulares e celulares podem ser executados de duas formas (Fig 5-35):

(1) salientes;

(2) em vala.

Para os bueiros metálicos, independente da forma ou tamanho, as fundações serão simples, necessitando, quase sempre, apenas de uma regularização do terreno de assentamento. Em função da altura dos aterros podem, porém, exigir cuidados especiais no que se refere à fundação.

PRECAUÇÕES NO PROJETO

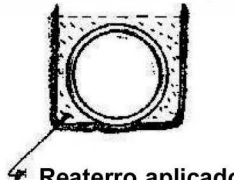
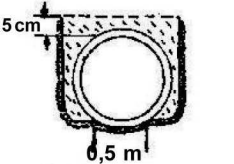
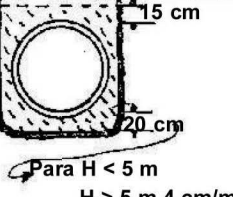
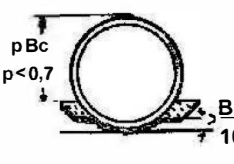
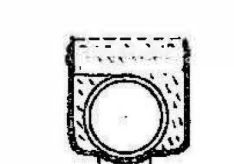
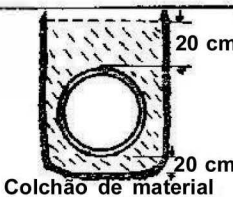



Fig. 5-34

f. Recobrimento:

(1) Bueiro tubular:

(a) altura mínima: 1,5 Æext (valor mínimo usual: 60 cm);

(b) altura máxima: função da forma de assentamento e da resistência do tubo.

(c) consultar tabelas 5-3 e 5-4.

(2) Os aterros de grande altura podem utilizar a técnica da falsa trincheira, que reduz a carga que atua sobre o bueiro. A técnica consiste em escavar uma parte do prisma de material compactado sobre o bueiro e enchê-lo novamente com material solto. Após isto, a construção do aterro prossegue normalmente.

Alturas de aterro calculadas com segurança em vala							
Diâmetro interno (cm)	Espessura (cm)	Diâmetro externo (cm)	Largura da vala (cm)	Leitos comuns		Leitos de 1ª classe	
				Altura de aterro em m		Altura de aterro em m	
				Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Tubos normais							
30	5,0	40,0	75	0,30 a 0,75	7,93	0,30 a 0,60	-
38	5,6	49,2	87	0,30 a 0,75	5,95	0,30 a 0,60	-
46	6,2	57,2	99	0,30 a 0,75	5,12	0,30 a 0,60	9,76
61	7,5	76,0	122	0,30 a 0,90	2,74 a 3,14	0,30 a 0,75	5,49
76	8,8	93,6	144	0,30 a 0,90	2,29 a 2,74	0,30 a 0,75	3,75
91	10,0	111,0	167	0,30 a 0,90	2,29 a 2,78	0,30 a 0,60	3,69
107	11,2	129,4	191	0,30 a 0,75	2,29 a 2,78	0,30 a 0,45	3,69
122	12,5	147,0	213	0,30 a 0,60	2,29 a 2,78	0,30	3,63
138	13,8	165,6	236	0,30 a 0,60	2,13 a 2,65	0,30	3,48
152	15,0	182,0	258	0,30 a 0,60	2,13 a 2,44	0,30	2,90 a 3,14
183	17,7	218,4	305	0,30 a 0,60	1,98 a 2,23	0,30	2,44 a 2,84
213	20,0	253,0	351	0,30 a 0,60	1,68 a 2,13	0,30	2,29 a 2,59

Tab 5-3.

Alturas de aterro calculadas com segurança para tubos salientes							
Diâmetro interno D (cm)	Espessura (cm)	Diâmetro externo Bc (cm)	Leitos comuns		Leitos de 1ª classe		
			Altura de aterro em m		Altura de aterro em m		
			Mínima	Máxima	Mínima	Maxíma	
Tubos normais							
-	5,0	40,0	0,30 a 0,60	3,84	0,30 a 0,60	4,57	
38	5,6	49,2	0,30 a 0,60	3,72	0,30 a 0,60	4,42	
46	6,2	58,4	0,30 a 0,60	3,66	0,30 a 0,60	4,30	
61	7,5	76,0	0,30 a 0,75	2,74 a 2,96	0,30 a 0,75	3,20 a 3,42	
76	8,8	93,6	0,30 a 0,90	2,44 a 2,80	0,30 a 0,90	2,90 a 3,26	
91	10,0	111,0	0,30 a 0,75	2,59 a 2,90	0,30 a 0,75	3,05 a 3,35	
107	11,2	129,4	0,30 a 0,60	2,74 a 3,05	0,30 a 0,60	3,05 a 3,42	
122	12,5	147,0	0,30 a 0,60	2,90 a 3,11	0,30 a 0,60	3,35 a 3,51	
138	13,8	165,6	0,30 a 0,45	2,90 a 3,14	0,30 a 0,45	3,20 a 3,35	
152	15,0	182,0	0,30 a 0,45	2,74 a 3,08	0,30 a 0,45	3,05 a 3,35	
183	17,7	218,4	0,30	2,74 a 3,05	0,30	3,05 a 3,29	
213	20,0	253,0	0,30	2,74 a 3,00	0,30	2,90 a 3,23	

Tab 5-4.

CAPÍTULO 6

TERRAPLANAGEM

ARTIGO I

INTRODUÇÃO

6-1. GENERALIDADES

De forma genérica pode-se definir terraplanagem como o conjunto de operações necessárias à remoção de terra para locais onde esteja em falta, tendo em vista a execução de uma determinada obra.

6-2. OPERAÇÕES BÁSICAS DA TERRAPLANAGEM

a. Examinando-se a execução de quaisquer serviços de terraplanagem, pode-se distinguir quatro operações básicas que ocorrem em seqüência ou, às vezes, simultaneamente:

(1) escavação;
(2) carga do material escavado;
(3) transporte;
(4) descarga e espalhamento.

b. Essas operações podem ser feitas pela mesma máquina ou por equipamentos diversos.

c. A escavação é o processo empregado para romper a rigidez do solo em seu estado natural, através do emprego de ferramentas cortantes, como a faca da lâmina ou os dentes da caçamba de uma carregadeira, desagregando-o e tornando possível o seu manuseio.

d. A carga consiste no enchimento da caçamba, ou no acúmulo diante da lâmina, do material que já sofreu o processo de desagregação, ou seja, que já foi escavado. O transporte consiste na movimentação da terra do local em que é escavada para onde será colocada definitivamente.

e. A descarga e o espalhamento constituem a execução do aterro propriamente dito. Quando as especificações determinam a obtenção de certo grau de compactação no aterro haverá, ainda, a operação final de adensamento (compactação) do solo até os índices mínimos estabelecidos.

f. As quatro operações básicas repetem-se através do tempo, constituindo-se, portanto, num trabalho cíclico e o seu conjunto denomina-se ciclo de operações.

ARTIGO II

ESTUDO DOS MATERIAIS DE SUPERFÍCIE

6-3. TERMINOLOGIA DE ROCHAS

a. De um modo geral, os materiais de superfície classificam-se em:

(1) Rochas - Materiais constituintes essenciais da crosta terrestre, provenientes da solidificação do magma ou lavas vulcânicas ou da consolidação de depósitos sedimentares, tendo ou não sofrido transformações metamórficas. Esses materiais apresentam elevada resistência somente modificável por contatos com o ar ou água em casos muito especiais;

(2) Solos - Materiais constituintes especiais da crosta terrestre proveniente da decomposição "in situ" das rochas pelos diversos agentes geológicos ou pela sedimentação não consolidada de material carbonoso e matéria orgânica coloidal.

b. Terminologia das rochas - Tratando-se de ocorrências de rochas de dimensões limitadas, serão empregados os seguintes termos:

(1) Bloco de rocha - pedaço isolado de rocha com diâmetro médio superior a 1 m;

(2) Matacão - pedaço de rocha com diâmetro médio superior a 25 cm e inferior a 1 m;

(3) Pedra - pedaço de rocha com diâmetro médio compreendido entre 7,6 cm e 25 cm;

(4) Rocha alterada - é a que apresenta, pelo exame macroscópico ou microscópico, indícios de alteração de um ou vários de seus elementos mineralógicos constituintes, tendo geralmente diminuídas as características originais de resistência.

6-4. CATEGORIAS

a. 1ª categoria: terra em geral, piçarra ou argila, rocha em adiantado estado de decomposição, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior de 15 cm, qualquer que seja o teor de umidade, compatíveis com a utilização de "dozer", "scraper" rebocado ou motorizado.

b. 2ª categoria: rocha com resistência à penetração mecânica inferior ao granito, blocos de pedra de volume inferior a 1 m^3, matacões e pedras de diâmetro médio superior a 15 cm, cuja extração se processa com emprego de explosivo ou uso combinado de explosivos, máquinas de terraplanagem e ferramentas manuais comuns.

c. 3ª categoria: rocha com resistência à penetração mecânica superior ou igual à do granito e blocos de rocha de volume igual ou superior a 1 m^3, cuja extração e redução, para tornar possível o carregamento, se processam com o emprego contínuo de explosivo.

ARTIGO III

EXECUÇÃO DA TERRAPLANAGEM

6-5. CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS DE SERVIÇO E OBRAS-DE-ARTE PROVISÓRIAS

a. A fim de permitir o fácil acesso a todos os pontos do trecho a ser construído e dar condições para que os equipamentos pesados atinjam às frentes de trabalho, faz-se necessário construir as estradas provisórias ou caminhos de serviço.

b. Em geral são obras de baixo custo, com movimento de terra mínimo, abrangendo a largura de 4 ou 5 m de plataforma. Procura-se, apenas, melhorar o "greide", eliminando ou suavizando as rampas de inclinação mais forte.

c. Nas baixadas, para evitar os solos de má qualidade ou afastar o perigo de inundações, é necessária a execução de pequenos aterros, com os respectivos bueiros de drenagem.

d. Para essa tarefa, os tratores de esteiras com lâmina angulável são os mais indicados já que, na maioria dos casos, procura-se um traçado a meia-encosta, com seção mista de corte e aterro.

6-6. CONSOLIDAÇÃO DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO DOS ATERROS

a. Um trabalho preparatório de grande importância é a consolidação dos terrenos de fundação dos aterros quando se apresentam com pouca consistência e pequena capacidade de suporte, permitindo, se carregados com o peso próprio do aterro, recalques exagerados e, eventualmente, escorregamento lateral, ocasionando o seu afundamento.

b. Existem várias técnicas que consistem, em última análise, em apressar-se o processo de adensamento do solo, aumentando a sua capacidade de suporte, garantindo a estabilidade do aterro e a ocorrência de recalques aceitáveis.

6-7. LOCAÇÃO TOPOGRÁFICA

a. A partir do eixo locado o executante deverá proceder à marcação dos pontos de "off-set" para a terraplanagem, bem como o deslocamento das estacas numeradas do eixo para o exterior dos "off-sets", garantindo sua conservação, já que as estacas do eixo vão desaparecer no decorrer dos trabalhos.

b. Convém destacar a importância da marcação topográfica na execução da terraplanagem, lembrando que a ocorrência de erros na locação do projeto implica graves prejuízos ao executante, uma vez que a correção desses erros é muito difícil.

6-8. LIMPEZA DA FAIXA, DESMATAMENTO E DESTOCAMENTO

A limpeza do terreno é um processo em que as estimativas de produção são bastante precárias porque as condições e métodos empregados variam acentuadamente de uma região para outra. Devem ser analisados os métodos, equipamentos e procedimentos que irão permitir a avaliação, com menos margem de erro, da produtividade das máquinas empregadas nesse serviço.

6-9. FATORES QUE INFLUEM NAS OPERAÇÕES DE LIMPEZA

a. Porte da vegetação - O número de árvores e o seu tamanho representam, pelo diâmetro dos troncos, a densidade da vegetação, o sistema de raízes e seu desenvolvimento subterrâneo. São fatores que devem ser determinados através de reconhecimento local.

b. Uso final da terra - A finalidade do terreno indica os diferentes tipos de limpeza a serem efetuados. Dependendo da implantação a ser feita, as exigências de cada caso serão mais ou menos rigorosas.

c. Condições do solo - A profundidade da camada da terra vegetal , a presença maior ou menor de matéria orgânica, teor de umidade, a existência de blocos de rocha ou matacões são fatores que influem na escolha dos equipamentos e nos processos a serem usados.

d. Topografia - Rampas de grande declividade, valetas, áreas pantanosas e formações rochosas afetam a operação de certos equipamentos.

e. Especificações da obra - O mesmo é possível afirmar quanto ao tamanho da obra, prazo de execução, disposição final do entulho resultante, exigência de conservação dos solos que influem na seleção e utilização das máquinas.

f. O reconhecimento do local é indispensável para a averiguação dos fatores favoráveis ou desfavoráveis aos serviços de limpeza. Os serviços de limpeza da faixa compreendem três itens principais:

(1) derrubada, remoção da vegetação e destocamento: é feita, de preferência, com tratores de esteiras com lâmina ou com implementos especiais, apropriados às tarefas;

(2) retirada da camada de terra vegetal;

(3) remoção de blocos de rocha, pedras isoladas, matacões etc.

g. O equipamento empregado no desmatamento tem que possuir estruturas metálicas de proteção à cabine do operador e à própria máquina para protegê-los da queda de galhos e ramos secos ou mesmo da árvore que será derrubada.

h. Cuidados especiais: a cabine, o motor, acessórios (filtro de ar), linhas hidráulicas, os cilindros hidráulicos e o guincho traseiro. O radiador e a parte inferior do bloco do motor (cárter) devem ser protegidos por chapas de aço ou telas reforçadas pois ficam expostos ao choque com troncos e matacões de rochas arrastados pela lâmina.

i. É interessante, ainda, a utilização de tratores com guincho traseiro e cabo de aço, implemento empregado para a derrubada de árvores ou remoção de tocos.

j. Pode-se destacar dois processos utilizados no desmatamento:

(1) corte em paralelo; e

(2) corte em retângulos.

l. No corte em paralelo (Fig 6-1) o trator percorre trajetos paralelos mas com sentidos contrários, empilhando o "entulho" nos dois lados. A distância percorrida em cada lance deve variar entre 30 e 60 m, ficando nos limites econômicos do equipamento. A lâmina permanece na posição normal, sem angulagem, devendo, cada passada, corresponder a sua largura.

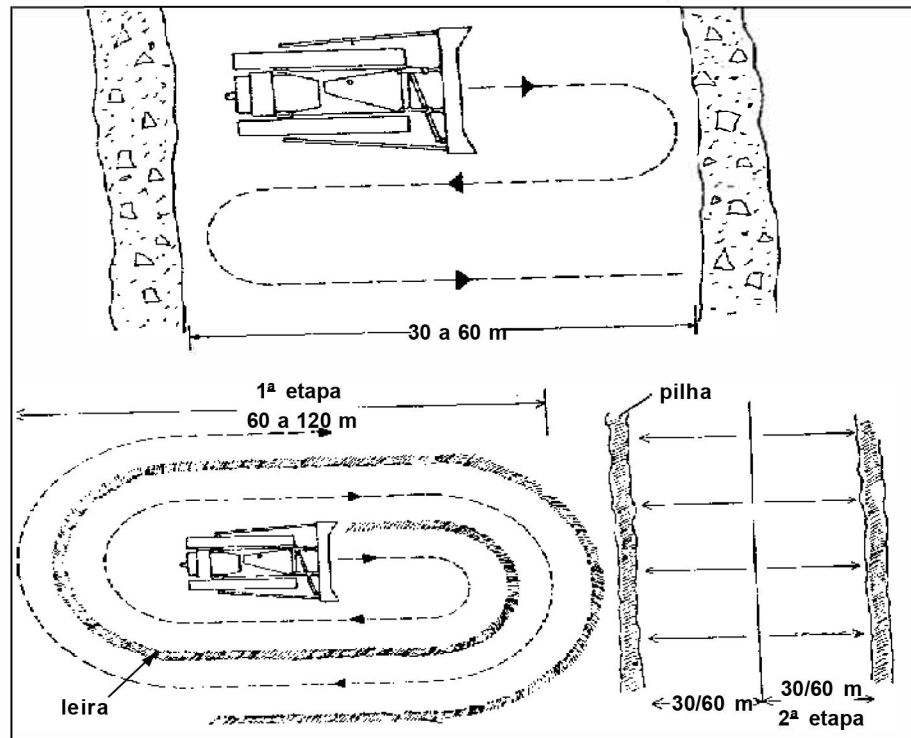



Fig 6-1.

m. O corte em retângulo pode ser feito em perímetros crescentes ou decrescentes, com a lâmina em posição angulada (1ª etapa) deixando o "entulho" enleirado. A seguir será empurrado para o dois lados, formando pilhas (2ª etapa).

n. A dimensão máxima dos retângulos deve atingir de 60 a 120 m.

6-10. EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NA LIMPEZA

a. Emprego de correntes - O desmatamento poderá também ser feito com o emprego de correntes, pesadas e reforçadas, arrastadas por dois tratores de mesmo modelo trabalhando em paralelo. É especialmente indicado para a limpeza de grandes áreas de vegetação de arbustos ou árvores de pequeno porte. O terreno deverá ser pouco ondulado, com pequenas declividades e apresentar boa capacidade de suporte. É necessário que o comprimento da corrente alcance, no mínimo, três vezes a distância entre os tratores para evitar que a queda da vegetação os atinja. A corrente deverá possuir alguns elos com articulação, no mínimo a cada 30 m, para evitar que seja torcida em razão das condições de trabalho (Fig 6-2).

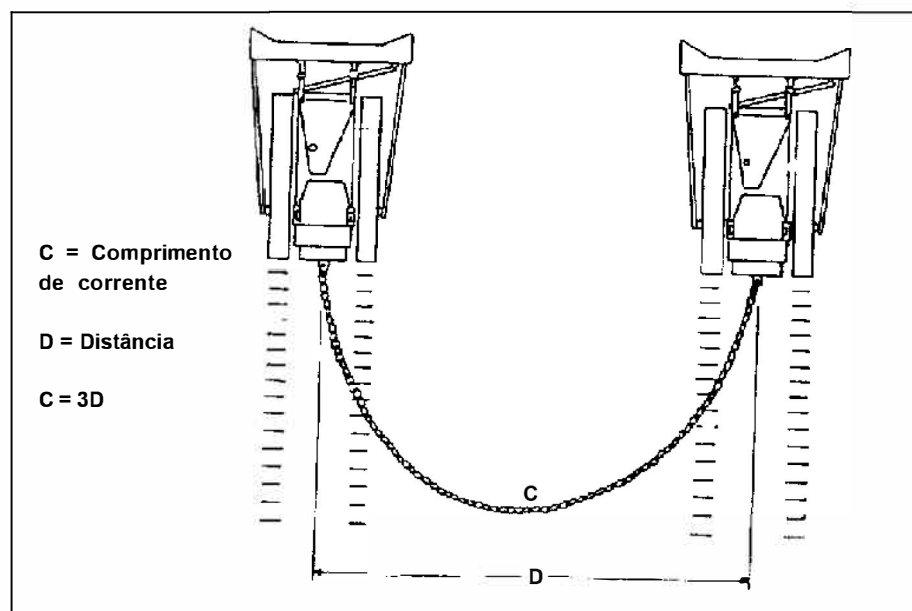



Fig 6-2.

b. Emprego da lâmina desmatadora - Consiste em uma lâmina desmatadora com a borda inferior provida de faca de corte muito afiada. A máquina se aproxima da árvore, com certa quantidade de movimento (m.v) que permite o corte direto do tronco pela faca. Há, na parte superior, uma barra transversal que empurra os detritos, impedindo que atinjam o trator e a cabina do operador. Na parte lateral esquerda possui um esporão pontiagudo que, penetrando no tronco, produz a sua ruptura, para depois aplicar-se a faca do corte. (Fig 6-3)

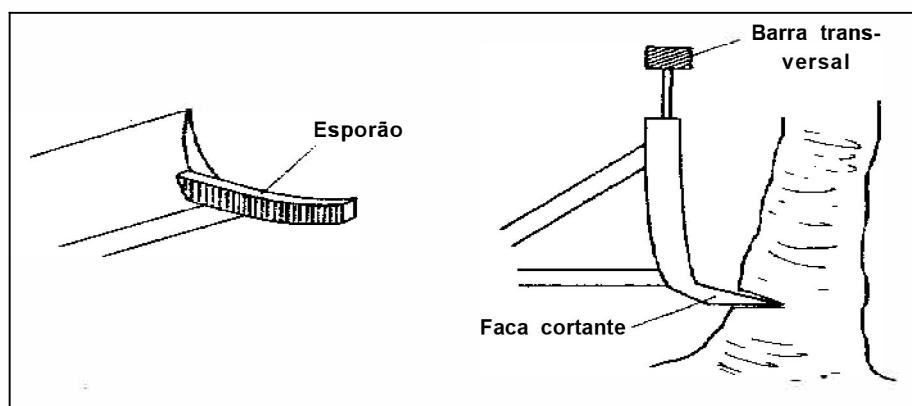



Fig 6-3. Lâmina desmatadora

c. Emprego da lâmina angulável - Enquanto a lâmina desmatadora faz a derrubada cortando o tronco, a lâmina normal executa o tombamento total da árvore, inclusive das raízes, que são arrancadas do solo. Caso se empregue a lâmina desmatadora será necessário, em seguida, proceder-se à operação, por vezes demorada, do destocamento. (Fig 6-4)

(1) Assim, a lâmina normal é utilizada com vantagens em áreas de vegetação de pequeno a médio portes, evitando-se o repasse para completar a retirada dos tocos e raízes.

(2) As árvores com tronco de até 30 cm de diâmetro são removidas com a lâmina pouco elevada em relação ao solo. Para aquelas com diâmetro entre 30 e 75 cm, a lâmina deverá ser levantada até a altura máxima, a fim de aumentar o momento de tombamento, mas o empuxo da máquina deverá ser aplicado gradualmente, sem choques, para evitar-se a queda de galhos secos e causar possíveis danos na transmissão.

(3) Na derrubada de árvore de grande porte - diâmetro além de 75 cm - convém aumentar a altura do ponto de aplicação do empuxo através de uma rampa de terra por onde sobe o trator, retirando-se a terra e secionando as raízes, do lado oposto.

(4) Quando as raízes são superficiais esse processo é eficiente, mas quando são profundas, com muitas ramificações, é necessário escavar-se ao redor delas, cortando-se as ramificações horizontais.

(5) A lâmina angulável, não sendo implemento dimensionado para a derrubada, possui produção menor do que a lâmina desmatadora. Pode-se acrescer de 25 a 35 % no tempo gasto com a lâmina desmatadora, nas mesmas condições.

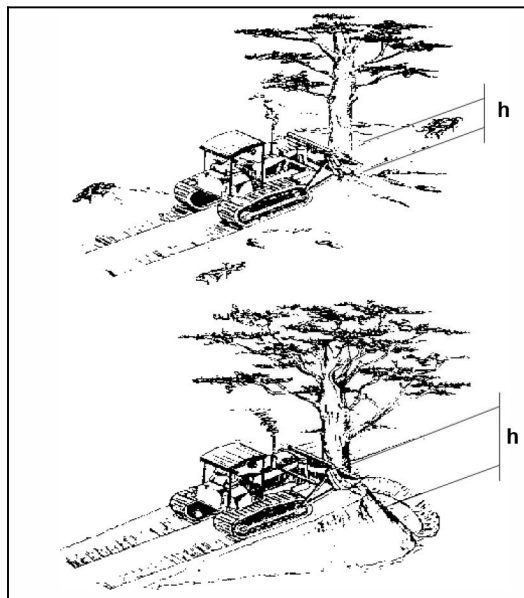



Fig 6-4. Derrubada de árvores de grande porte

d. Emprego do destocador - O destocador (“stumper”) é um implemento destinado à remoção de tocos deixados após o corte da árvore com a lâmina desmatadora. O princípio de sua aplicação é o uso da força concentrada do empuxo do trator numa área reduzida e ao mesmo tempo da força de levantamento de lâmina. A curvatura do destocador e sua pequena largura permitem a entrada no solo e aplicação da força por baixo do toco, removendo-o com todas as ramificações. Quando o sistema de raízes é muito desenvolvido faz-se necessário o corte prévio das raízes secundárias com a lâmina do trator. (Fig 6-5)

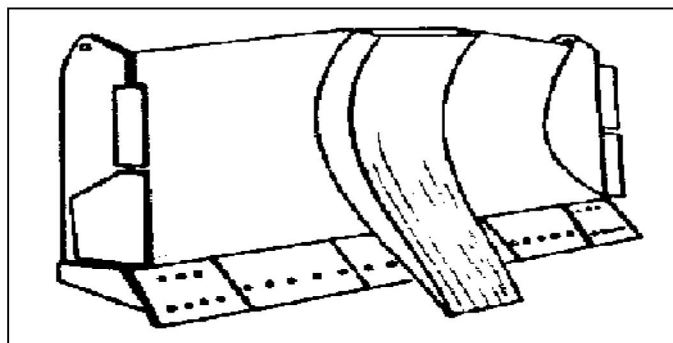



Fig 6-5. Destocador

e. Emprego do ancinho - Este implemento é, freqüentemente, usado na derrubada de capoeiras e cerrados que apresentam vegetação de pequeno porte e diâmetro dos troncos menor do que 20 cm. É utilizado também no enleiramento ou formação de pilhas (leiras) do material anteriormente derrubado. Possui dentes bem espaçados e a própria lâmina tem aberturas que permitem o escoamento da terra, separando o “entulho” acumulado nas leiras da terra vegetal. (Fig 6-6)

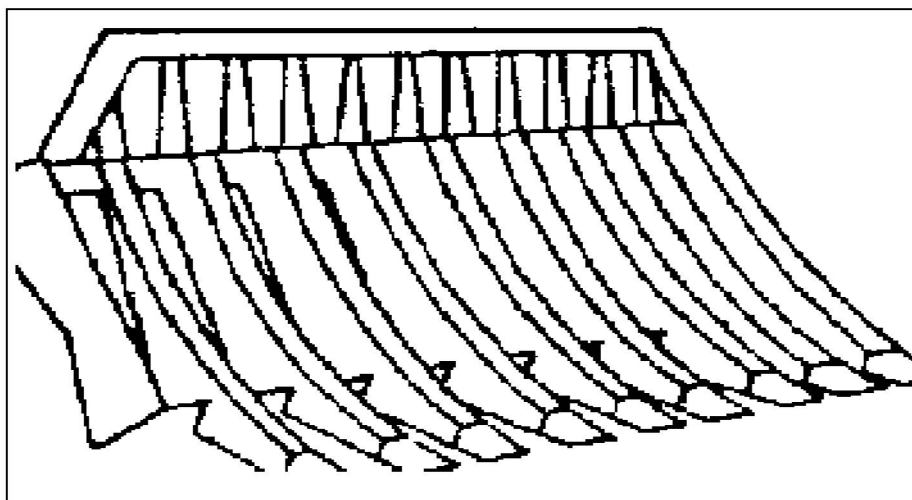



Fig 6-6. Ancinho

ARTIGO IV

EQUIPAMENTOS DE TERRAPLANAGEM

6-11. TRATOR DE ESTEIRAS COM LÂMINA

O trator de esteiras com lâminas é, sem dúvida, o equipamento mais versátil utilizado na terraplanagem.

a. Corte em meia-encosta - Uma das aplicações mais freqüentes do trator é a escavação em seção mista, em que há, simultaneamente, corte e aterro. (Fig 6-7)

(1) O trator de lâmina angular (“angle-dozer”) é indispensável na escavação em seção mista, uma vez que, à medida que a máquina se desloca, há o transporte lateral da terra, levando-a da seção em corte para a seção em aterro, obtendo-se a compensação lateral.

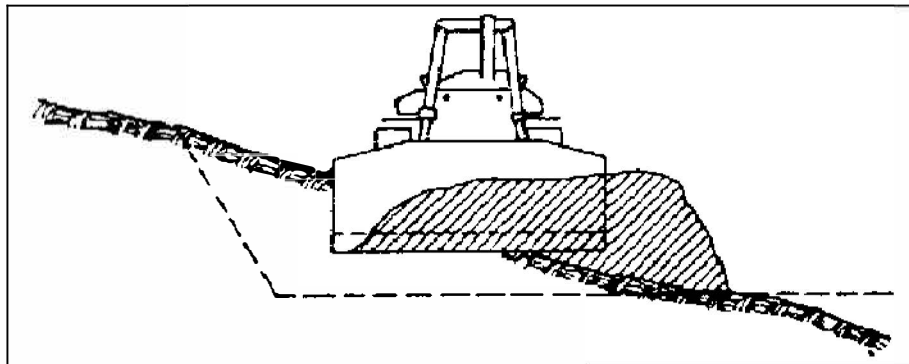



Fig 6-7. Corte em meia-encosta

(2) Assim, a própria máquina vai fazendo a plataforma sobre a qual trabalha, compactando, com as sucessivas passadas das esteiras, a terra já colocada no aterro.

(3) A lâmina angulável, sendo móvel e articulada, é mais frágil do que a da lâmina reta, por isso deve-se evitar a penetração muito profunda da lâmina no terreno, a fim de não ocasionar avarias. Além disso, a angulagem da lâmina cria uma componente excêntrica em sentido oposto ao movimento do equipamento alterando a direção do deslocamento e que será tanto maior quanto mais pronunciadas forem a angulagem e a profundidade do corte. O operador, para compensar esse fato, deve trabalhar acionando levemente a embreagem lateral oposta ao corte, realinhando o trator.

(4) Quando a inclinação lateral é muito forte, porém, o corte não pode ser feito nas condições expostas, com a máquina se deslocando no sentido do eixo. Nessa hipótese deve-se, inicialmente, escavar em sentido perpendicular ao eixo da estrada, de cima para baixo, com passadas de pequena extensão.

(5) Feito esse ligeiro desbaste do terreno prossegue-se a escavação, pelo processo descrito anteriormente, com o trator trabalhando no sentido do eixo da estrada.

(6) Pode-se conseguir, também, o início do corte numa seção com declividade lateral muito grande, executando-se a escavação com o canto da lâmina inclinada lateralmente. Feita a plataforma com largura suficiente para conter a máquina prossegue-se a escavação com a lâmina na posição normal. (Fig 6-8)

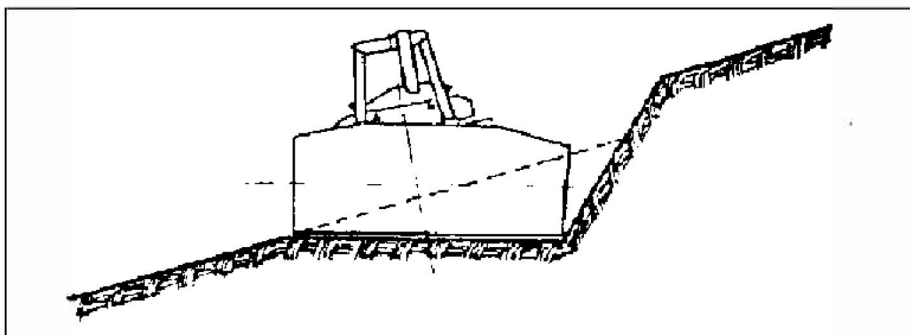



Fig 6-8. Corte com o canto de lâmina

b. Escavação e transporte em distâncias curtas - Sempre que a distância entre os centros de massa de corte e aterro for pequena (inferior a 50 m), a execução da terraplanagem de pequenos volumes deve ser feita com trator de esteiras.

(1) Nesse caso, o trator executa todas as operações da terraplanagem: escava, transporta e espalha o material através de sucessivas passadas da lâmina. À medida que o material se acumula diante dela, aumentam as resistências opostas ao movimento até que o operador perceba a falta de torque do motor, pela diminuição gradativa da velocidade. Nessa situação deve-se levantar a lâmina, deixando que parte da terra se escoe, diminuindo novamente as resistências e ganhando velocidade.

(2) Em terrenos pouco acidentados, as pequenas desigualdades do solo transmitidas à lâmina, que se encontra como que em balanço em relação à máquina, transformam-se em movimentos de maior amplitude (“nosing”), que deixam a superfície do terreno muito irregular. Isto se corrige no trajeto do retorno, em marcha a ré, abaixando a lâmina sem, contudo, encostá-la no chão, fazendo o acerto das irregularidades numa operação de alisamento.

(3) Quando se trabalha com a lâmina reta, ela pode se aprofundar no terreno, levantando a parte traseira da máquina, o que se não for corrigido resultará um corte desnivelado. O operador deve levantar a lâmina e prosseguir na escavação normal.

(4) Outra recomendação importante nos trabalhos com lâmina é o aproveitamento da assistência de rampa, escavando, sempre que possível, na direção das rampas descendentes, evitando o corte em camadas horizontais. Já vimos que , relativamente à produção, isto significa o aumento substancial do volume de terra movido na unidade de tempo.

c. Preparo dos cortes e aterros - Antes da entrada dos equipamentos de pneus, devemos preparar um caminho inicial para permitir a sua passagem, incluindo-se as praças de manobra no corte e no aterro.

(1) Quando a inclinação natural do terreno é muito grande no sentido do eixo longitudinal da estrada, inicia-se a escavação no corte, próxima à linha de passagem, empurrando a terra para o trecho em aterro, atenuando a rampa de modo a permitir o tráfego das unidades de pneus com maior segurança na descida e menor resistência ao movimento no retorno. Além disso, na própria seção transversal em corte, quando a inclinação lateral do terreno é muito acentuada, é indispensável a correção dessa rampa para que o "motoscraper" possa iniciar a escavação numa plataforma, tanto quanto possível, horizontal, junto ao ponto de "off-set", ou seja, na crista do corte. (Fig 6-9)

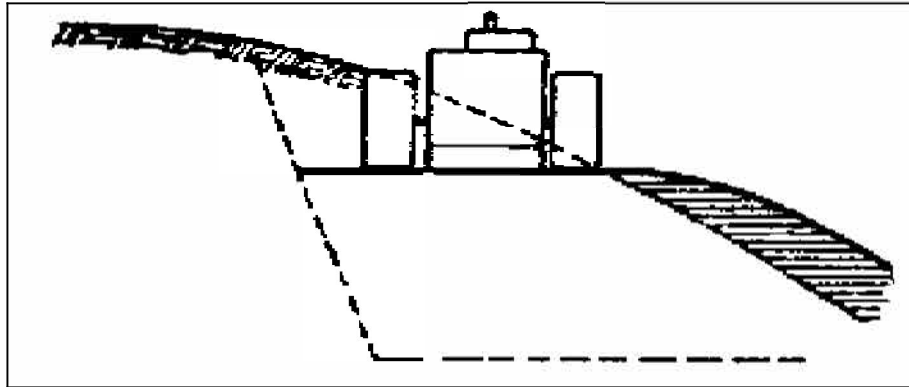



Fig 6-9. Preparo dos cortes

(2) Esses serviços de preparo do corte são, de início, feitos, normalmente, com trator de esteira, para, em seguida, o equipamento de pneus prosseguir na escavação.

d. Espalhamento de terra na ponta de aterro - A terra transportada para o aterro por "motoscraper", caminhões ou vagões deve ser espalhada em camadas com espessura uniforme, a fim de permitir a compactação com os equipamentos especiais. Esse trabalho é feito por tratores de lâmina, porque os volumes de terra são pequenos e empurrados a pequenas distâncias.

Em geral são empregados tratores de esteiras de pequeno porte (ou motoniveladoras), fazendo-se o espalhamento no trajeto de ida e a regularização no retorno com a lâmina abaixada.

e. Escarificação - Os tratores de esteiras de grande porte são muitas vezes providos de escarificadores na parte posterior, comandados por cilindros hidráulicos e utilizados em terrenos muito compactos, quebrando-lhes a resistência ao corte para, em seguida, ser possível a sua remoção com lâmina ou "motoscraper". Materiais duros, classificados como de 2ª categoria, podem sofrer desmontes com escarificadores reforçados e rebocados por tratores de grande empuxo, evitando-se dessa forma o emprego de explosivos.

f. Emprego do “pusher” - Os tratores de esteiras com lâmina comum, desde que reforçada ou especial, são empregados na operação de empurrar os “motoscraper” no trajeto de carga. As unidades com transmissão tipo “power-shift”, com coversor de torque, são as mais indicadas para tal trabalho. Como são máquinas acopladas, submetidas a esforços e impactos que variam de intensida-de, convém que operem de forma conjugada, variando a velocidade para que o esforço trator se adapte perfeitamente à intensidade das resistências opostas ao movimento, sem a ocorrência de choques bruscos que poderiam danificar ou desgastar, prematuramente, as peças da transmissão.

Além disso, deve haver a adequação entre o tamanho do “pusher” e a capacidade do “motoscraper”, permitindo a carga total dentro do tempo previsto.

g. Acabamento dos taludes - Os tratores de lâmina podem ser emprega-dos no acabamento dos taludes dos cortes, utilizando-se a inclinação lateral da lâmina e executando o corte com o canto da mesma. Essa operação, todavia, apresenta o inconveniente de obrigar o equipamento a operar com forte inclinação, sobrecarregando os esforços sobre uma das esteiras, o que ocasiona desgaste desigual no material rodante.

h. Execução de valetas - Embora haja equipamentos apropriados para a abertura de valetas, como as retroescavadeiras, o trator poderá ser utilizado para esse tipo de serviço. Nesse caso, a lâmina deverá ser inclinada lateralmente com um de seus cantos definindo o centro da valeta. Quando a profundidade desejada for atingida, a lâmina deve ser nivelada, prosseguindo-se na escavação.

i. Escavação em trincheiras - A escavação em trincheiras é usada no empilhamento de materiais, permitindo que maiores volumes sejam acumulados à frente da lâmina, podendo aumentar a produção em até 20%. (Fig 6-10)

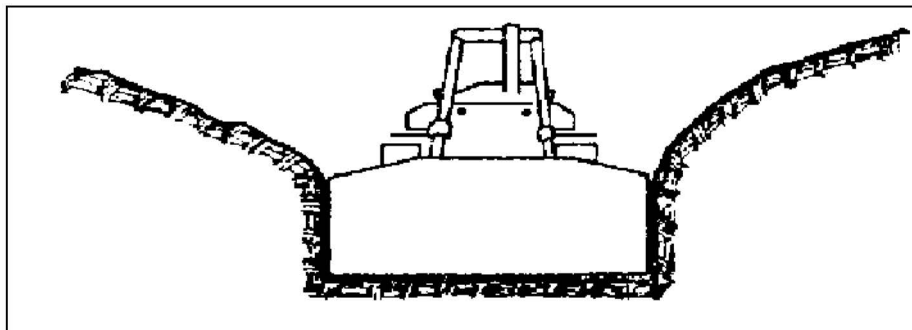



Fig 6-10. Escavação em trincheiras

6-12. UNIDADES ESCAVO-TRANSPORTADORAS

São utilizadas na execução da terraplanagem numa larga faixa de distân-cias médias e longas, em trabalhos que não podem ser executados com lâmina, ou com carregadeiras e caminhões basculantes.

Quando usadas racionalmente são máquinas de alta produtividade se comparadas com outros equipamentos. Entretanto, a sua utilização pode ser prejudicada por fatores adversos surgidos na escavação, no transporte ou na descarga que, se não forem eliminados, diminuem substancialmente a produção. Por isso, será conveniente o exame de alguns desses fatores e a forma de se conseguir a otimização do desempenho dos “scrapers”.

a. Uniformização da frota - É aconselhável o emprego de equipamentos de mesma capacidade, tipo e velocidade para uso no mesmo ciclo, pois, caso contrário, as unidades mais velozes serão retardadas pelas mais lentas, quebrando-se o sincronismo da operação.

Quando for necessário utilizar equipamentos de características diferentes, a experiência mostra que a velocidade mais alta resulta em produção maior, sendo preferível carregar as unidades mais lentas com menores volumes, de maneira que desenvolvam velocidades próximas das máquinas mais rápidas, compensando-se a carga menor, com um maior número de ciclos no turno de trabalho.

b. Técnicas de carregamento - A operação de carga de um “motoscraper”, embora considerada como tempo fixo, depende de vários fatores que podem aumentá-lo ou diminuí-lo, com a variação correspondente na produção:

(1) Como primeira providência deve-se evitar o congestionamento das máquinas na zona de corte, o que atrasa a operação de carga, gerando tempos parasitas e prejudicando a operação do trator empurrador - máquina básica que determina o rendimento do conjunto. A área de carregamento deve ser, portanto, bem ampla, sem obstáculos que retardem a movimentação das unidades.

(2) Outro fator de aumento de produção é o carregamento em rampa descendente, aproveitando-se a “assistência de rampa”, que é adicionada ao esforço trator da máquina, estimado em 10 Kg/t de peso próprio do equipamento, para cada 1% de rampa. Assim, um “motoscraper” com 50 t, descendo uma rampa de 8%, recebe uma força adicional de 10 Kg x 50 t x 8% = 4.000 Kg. Aplicando-se a regra prática da necessidade de 1 Kg de esforço trator para carregar 1 Kg de terra, a “assistência de rampa”, nesse caso, permitiria carregar 4.000 Kg de terra sem dispêndio de energia. Ela pode, também, reduzir em até 0,2 min o tempo de carregamento.

(3) Deve-se instruir os operadores dos “motoscraper” a iniciarem o corte sem auxílio do “pusher”, até o ponto em que sintam a falta do torque do motor ou haja o patinamento das rodas motrizes, conseguindo o enchimento parcial da caçamba. Em seguida o “pusher” completa o carregamento. Esta operação, em solos pouco rígidos, pode reduzir em até 40 % o tempo de carga.

(4) Nos materiais arenosos, há a tendência do acumulo de terra na frente da caçamba sem, contudo, conseguir penetrá-la. Nesse caso, usa-se a técnica do “bombeamento”, abaixando-se o avental sobre o material amontoado e, em seguida, movimentando-se a lâmina do "scraper" para cima e para baixo, cortando maior ou menor profundidade de camada. Esse processo permite cargas maiores, ainda que signifique o aumento do tempo de carga. (Fig 6-11)

(5) É interessante, ainda, mencionar o sistema de passadas alternadas na carga dos “scrapers”. Isto é, entre duas cargas consecutivas deixa-se uma faixa

sem cortar, de largura ligeiramente menor do que a da caçamba. Uma terceira passada sobre essa faixa permitirá carga mais rápida, já que não existem resistência laterais nos bordos externos do “scraper”.

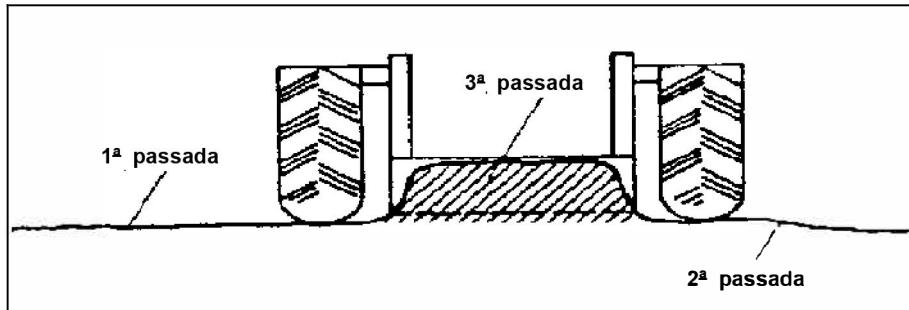



Fig 6-11.

(6) Em materiais argilosos, secos e compactos é necessário, muitas vezes, proceder-se à pré-escarificação para se conseguir o carregamento rápido dos “scrapers”. Nessa hipótese, é conveniente a fragmentação dos materiais duros. O mesmo pode ser feito quando se trata de escavação de material de 2ª categoria.

(7) Os tratores empurradores, quando ociosos, podem ajudar na conservação da área de carregamento, nivelando as irregularidades do terreno deixados pela passagem dos “scraper”, permitindo maior velocidade das máquinas.

(8) O efeito de adensamento do material (até de 25%) que está sendo carregado é obtido pelo avanço da comporta do ejetor até as proximidades da parte anterior, conseguindo-se cargas maiores em peso.

(9) É preferível, muitas vezes, carregar-se a caçamba com um volume ligeiramente menor (10%), desde que se ganhe tempo no carregamento, aumentado-se a produtividade, ainda que com menor volume transportado por viagem.

(10) Na carga do “motoscraper” há, ainda, algumas observações de caráter prático, visando o aumento de produção e certos procedimentos que devem ser evitados para melhorar a operação e manutenção da máquina:

(a) A determinação da espessura do corte da camada, obtida pela profundidade da lâmina cortante, é essencial, pois se for muito profunda aumentará as resistências opostas ao movimento e, em conseqüência, o tempo de carga. Se for mais superficial, haverá maior demora no tempo de carga. Assim, o corte deve ser o mais profundo possível, permitindo, porém, que a carga se faça num tempo razoável e com velocidade constante, sem sobrecarga do motor e sem patinamento dos pneus. Se ocorrer a diminuição da rotação dos motores da própria máquina e do “pusher” ou se as rodas patinarem, deve o operador diminuir a profundidade do corte;

(b) Se a carga realizar-se em terreno com afloramentos de rocha ou materiais de 2ª categoria muito compactos, a transmissão do “motoscraper” deve ser colocada no neutro, a fim de evitar impactos violentos que ocorrem neste tipo de carregamento, ficando o empuxo a cargo do trator empurrador;

(c) A trava do diferencial (ambas as rodas motrizes recebem o torque e giram à mesma velocidade) deve ser utilizada sempre que haja possibilidade do patinamento das rodas motrizes. Se o travamento não impedi-lo, o "pusher" dever completar o trabalho sozinho;

(d) A fim de evitar tensões excêntricas, o trator empurrador e o "motoscraper" devem trabalhar alinhados, sendo o movimento do conjunto sempre retilíneo;

(e) Quando a caçamba estiver cheia, elevar a borda cortante do "scraper" lentamente para que a parte final do corte fique regular, sem degraus;

(f) Para cada condição de obra deve-se fazer um estudo do "tempo ótimo de carregamento", a fim de aumentar a produção e eficiência da obra.

c. Transporte - Após a análise do ciclo das unidades escavotransportadoras verifica-se que os tempos gastos no transporte representam a maior parte do ciclo. Os tempos de carga, manobras e descarga consomem apenas uma fração relativamente pequena do mesmo. Por essa razão, as perdas de tempo no transporte são as que mais influem na produtividade.

(1) As pistas de transporte devem ter largura suficiente, ser bem conservadas, sem irregularidades e com boa drenagem. Caso um desses itens não esteja adequado, a velocidade da máquina é reduzida, ficando bastante abaixo das velocidades máximas, aumentado desnecessariamente o tempo de ciclo.

(2) Além disso, as pistas mal conservadas provocam choques e impactos que são transmitidos à estrutura das máquinas através dos pneus, que têm, portanto, maior desgaste e vida útil menor.

(3) Como os pneus não absorvem todos os impactos, estes são, em grande parte, transmitidos e absorvidos pelos elementos estruturais do "motoscraper", podendo ocasionar trincas e rupturas.

(4) As pistas de transporte devem apresentar, portanto, algumas características que resultam no aumento da velocidade da máquina e são, portanto, fatores que induzem ao incremento da produção.

(a) Boa capacidade de suporte e baixa resistência de afundamento - O afundamento das rodas, causado pela ruptura do solo ou pela sua deformação elástica, é o principal fator que influi negativamente nas velocidades a serem atingidas nas pistas. Assim, as estradas de serviço que apresentarem terrenos fracos, instáveis ou de comportamento elástico devem ser substituída por solos de boa capacidade de suporte e baixa resistência de rolamento, devidamente compactados.

(b) Conservação das pistas - Mesmo em terrenos de bom suporte, a repetida passagem dos "motoscrapers" sobre as mesmas faixas da pista tende a ondulá-la e a formar cavidades que dificultam o deslocamento da máquina, reduzindo muito a sua velocidade e transmitindo impactos à estrutura. Por outro lado, quando há períodos sem chuvas, o solo perde rapidamente o teor de umidade, formando espessa camada de poeira que se eleva com a passagem dos pneus, diminuindo a visibilidade do operador e envolvendo a máquina. Essa nuvem de poeira recobre as partes expostas e adere às que contêm lubrificante, graxas ou óleo diesel derramado formando uma pasta aderente de efeito nocivo causado pela abrasão, além de comprometer a segurança da operação. É indispensável o

emprego de motoniveladora para regularizar a pista, devendo essa manutenção ser realizada sempre que se perceba qualquer perda de velocidade dos "motoscrapers". A fim de combater a formação de poeira deve-se umedecer as pistas com caminhões-pipa ou adicionar-se substâncias estabilizantes que retém a umidade natural como, por exemplo, o cloreto de cálcio.

(c) Largura da pista - Influi no desempenho das máquinas porque, como se sabe, sempre que elas se cruzam em sentido contrário ou mesmo ultrapassam algum equipamento estacionado, há forte redução da velocidade. É necessário que a seção transversal da pista seja compatível com a largura do equipamento de maiores dimensões que vai nela trafegar. A experiência recomenda que a largura total seja no mínimo três vezes a da máquina. Essa providência facilita o cruzamento, a ultrapassagem e mesmo um equipamento estacionado, ocupando uma faixa, não chega a interferir no fluxo dos outros.

(d) Drenagem - As pistas devem apresentar boas condições de escoamento das águas pluviais. Se necessário, providenciar caimentos transversais de 1 a 2%, evitando a formação de poças d'água e o umedecimento excessivo do solo, que diminuem sua capacidade de suporte.

(e) Visibilidade - As curvas de pequeno raio, com visibilidade reduzida, que obrigam o operador a diminuir a velocidade devem ser evitadas. Se por qualquer razão não puderem ser eliminadas é preciso organizar o tráfego nesses locais a fim de evitar abalroamentos e diminuição da velocidade.

(5) Todas essas medidas, e outras que as condições locais indiquem, devem ser implantadas para conseguir-se na pista as velocidades que os cálculos de produção mostraram como adequadas aos diversos trechos a fim de minimizar-se os tempos de transporte.

(6) Instruir o operador para utilizar, sempre que possível, as marchas de maior velocidade em cada trecho do trajeto e nos declives longos acionar o retardador para conseguir, também, a maior velocidade compatível com a segurança da máquina.

d. Combinação de ciclos - É possível diminuir o tempo de ciclo total mediante a combinação de dois ciclos parciais e a eliminação de manobras. (Fig 6-12) Consideramos o caso de um corte, com dois aterros próximos que vão ser preenchidos com o material proveniente do mesmo. A escavação poderia ser feita com dois ciclos individuais, de acordo com o esquema abaixo.

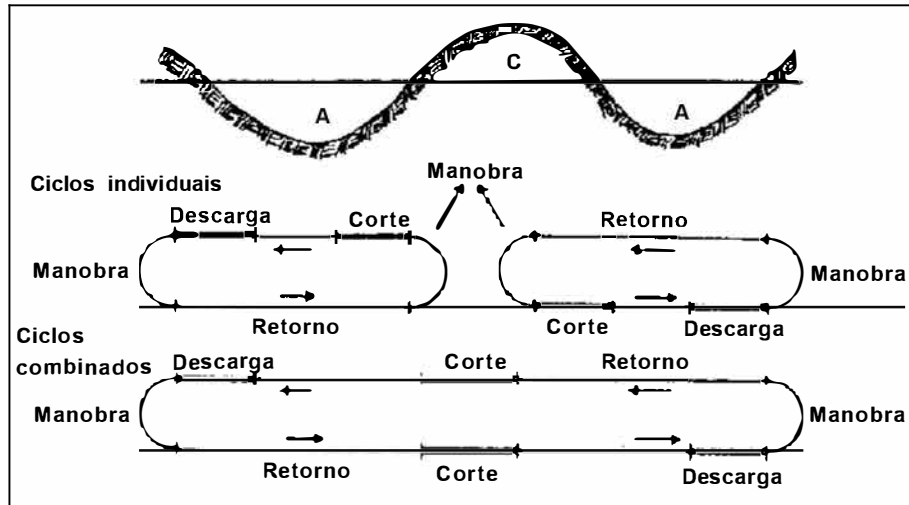



Fig 6-12. Combinação de ciclos

e. Descarga - A descarga dos materiais argilosos, quando muito úmidos, torna-se difícil devido a sua aderência às paredes da caçamba e à formação de grandes torrões de terra. Para essa operação convém levantar o fundo da caçamba a uma boa altura, de maneira a facilitar o fluxo do material entre a lâmina e a superfície do terreno, ao mesmo tempo em que o avental é levantado, permitindo a saída de parte do material por gravidade. Em seguida o ejetor entra em ação empurrando o restante da terra.

(1) Caso haja tendência ao empilhamento do material à frente da caçamba, dificultando a descarga, o operador deve abaixar o avental lentamente sobre o material acumulado, forçando a sua passagem entre a caçamba e o terreno.

(2) Nos “motoscrapers” com esteira elevatória pode-se conseguir o esvaziamento mais rápido, invertendo o sentido do seu movimento.

6-13. ESCAVADEIRAS DE ACIONAMENTO HIDRÁULICO

a. Nos últimos anos surgiram escavadeiras com acionamento por pistões hidráulicos que, devido à rapidez e precisão dos seus movimentos, têm ampliado o seu campo de aplicação e, praticamente, eliminado os equipamentos movidos a cabo, com exceção da lança “drag-line”.

b. Existem as escavadeiras hidráulicas com caçamba frontal (“shovel”), caçamba retroescavadeira e mesmo do tipo “clam-shell” utilizadas na escavação desde materiais compactos até solos muito moles e saturados, que apresentam baixa capacidade de suporte. (Fig 6-13)

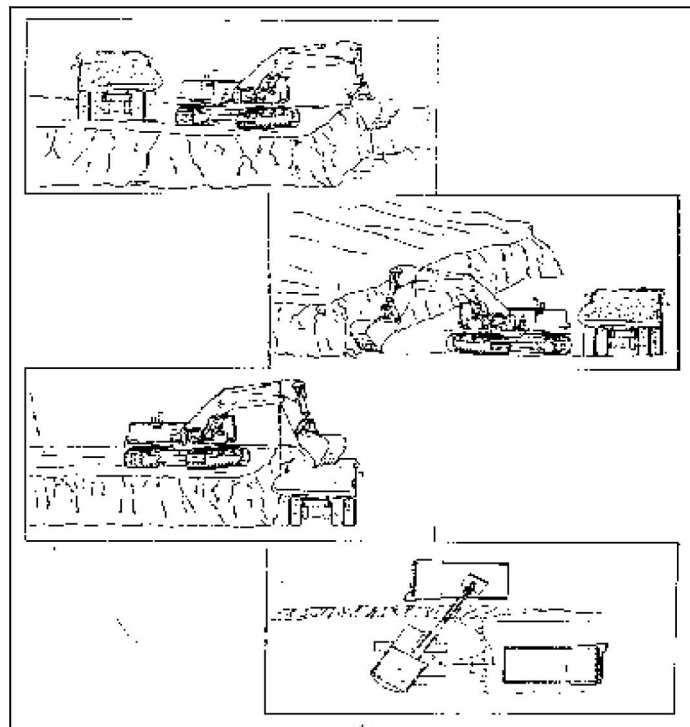



Fig 6-13. Carga em diferentes níveis

c. Quando for necessário transportar os solos removidos a distâncias médias ou grandes, os veículos de transporte são utilizados juntamente com os equipamentos de carga e os solos locais devem possuir capacidade de suporte suficiente para permitir o tráfego de caminhões.

d. Assim, algumas hipóteses devem ser admitidas para o uso desses equipamentos. Quando os solos presentes são moles e saturados no fundo da cava, a retroescavadeira se posiciona sobre o terreno natural mais firme e remove o material instável em nível inferior. Os veículos de transporte trafegam, também, na parte superior, que é de maior suporte. Quando o solo suporta a escavadeira mas não a viatura basculante, coloca-se a escavadeira “shovel” na parte inferior e os veículos na superior.

e. Se as condições locais permitirem, pode-se usar diferentes níveis de trabalho, ficando a retroescavadeira na parte mais alta do terreno, escavando abaixo do nível em que se encontra e a carregadeira frontal trabalha no nível inferior, carregando os veículos de transporte em plataformas diferentes.

6-14. CARREGADEIRAS DE ESTEIRAS

a. As carregadeiras de esteiras têm se revelado como os equipamentos mais versáteis na terraplanagem, pois permitem o seu emprego nas mais diversas tarefas.

b. A mais comum consiste na escavação de cortes e aterros em que a distância de transporte seja longa, exigindo o emprego de unidades transportadoras.

c. A técnica do terraceamento, à semelhança do que foi dito para as escavadeiras, é a mais indicada para abertura de cortes.

d. A altura das bancadas é limitada pelo alcance máximo da caçamba na posição de corte.

e. Devido à grande capacidade das suas caçambas, se comparadas com as das escavadeiras, a altura ótima de corte não será de tanta importância no caso das carregadeiras como fator que afete a produção. (Fig 6-14)

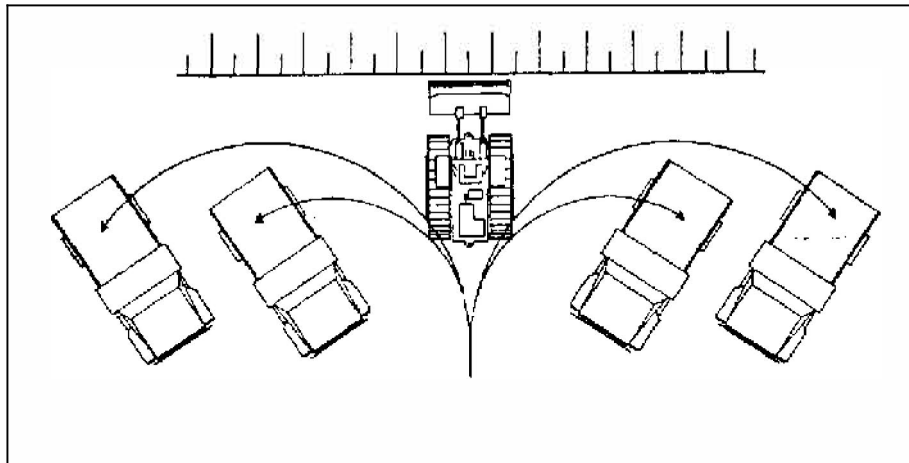



Fig 6-14. Carga alternada de caminhões

f. As carregadeiras, sendo máquinas que apresentam boa mobilidade, têm a vantagem, em relação às escavadeiras, de deslocarem-se até as unidades de transporte, não possuindo um local fixo para a operação de carga, As escavadeiras, por se manterem imóveis no carregamento, obrigam os transportadores a se posicionarem dentro do seu raio de ação.

g. Com isso, os tempos de espera e posicionamento das unidades de transporte são reduzidos e até eliminados, diminuindo o tempo de carregamento, com aumento da produtividade.

h. Entretanto poderão ser usadas em muitas outras tarefas como abertura de valas rasas, espalhamento de terra, remoção de matacões de rocha, raízes e terra vegetal, transporte de materiais a curta distância, carregamento de rocha fraturada e outros serviços.

6-15. CARREGADEIRAS DE RODAS

a. As carregadeiras de rodas, devido à deficiência de tração e à baixa flutuação, só podem ser usadas, ao contrário das carregadeiras de esteiras, em terrenos firmes, com pouca umidade, limitando sua aplicação ao corte e carga de materiais de fácil desagregação (ou já desagregados), como areia, pedregulho e cascalho, pedra britada e rocha fraturada,

b. Em virtude da sua velocidade de deslocamento e à facilidade de manobras com a direção articulada, é equipamento extraordinariamente útil na carga de materiais, quando o fator rapidez e alta produção estiverem envolvidos.

6-16. UNIDADES APLAINADORAS

a. São as máquinas que fazem os trabalhos de acabamento e de conformação final às cotas do projeto da terraplanagem, devido à precisão de movimentos e à colocação, nas mais variadas posições, que é possível dar a lâmina.

b. Nenhuma equipe de terraplanagem pode prescindir de uma motoniveladora, em todas as fases dos trabalhos, já que ela pode desempenhar as mais diversas tarefas, entre elas:

(1) corte, transporte e espalhamento nos trabalhos de raspagem, isto é, escavação de altura reduzida e pequena distância de transporte;

(2) espalhamento e regularização das camadas a serem compactadas nos aterros bem como a homogeneização do teor de umidade ótima;

(3) acabamento dos taludes dos cortes e das plataformas, conformando-as aos perfis longitudinais e transversais do projeto;

(4) manutenção de pistas para os "motoscrapers" e dos caminhos de serviços;

(5) abertura de pequenas valetas de drenagem;

(6) escarificação leve de terrenos compactos e com teores de umidade muito baixos;

(7) limpeza da faixa, quando houver vegetação rasteira e pequenos arbustos, bem como a remoção da camada de terra vegetal desde que não haja raízes e tocos.

CAPÍTULO 7

CORTES

7-1. LOCAÇÃO TOPOGRÁFICA DOS CORTES

a. Para a execução dos cortes é necessário, em primeiro lugar, a locação topográfica que irá delimitar de maneira precisa a área a ser trabalhada pelas máquinas.

b. Geralmente os órgãos rodoviários fornecem o eixo locado com estacas de 20 em 20 m, bem como a marcação dos PC, PT e PI.

c. Ao executor da obra cabe a marcação dos pontos extremos da seção transversal dos cortes chamados de pontos de "off-set".

d. Estes pontos são muito importantes para a execução dos trabalhos, pois, caso haja erros de locação ocorrerá o alargamento ou a diminuição da boca do corte. Daí provém a formação de superfícies côncavas ou convexas no talude, em lugar das planas e inclinadas, com graves prejuízos, quer no aspecto estético, quer quanto à modificação dos volumes e dimensões previstos no projeto.

e. Para a locação desses pontos é necessário conhecer os seguintes elementos do projeto (Fig 7-1):

(1) nota de serviço, ou seja, a indicação, de estaca em estaca, das alturas de corte, ou seja, a cota vermelha;

(2) largura da plataforma;

(3) ângulo de talude de corte adotado.

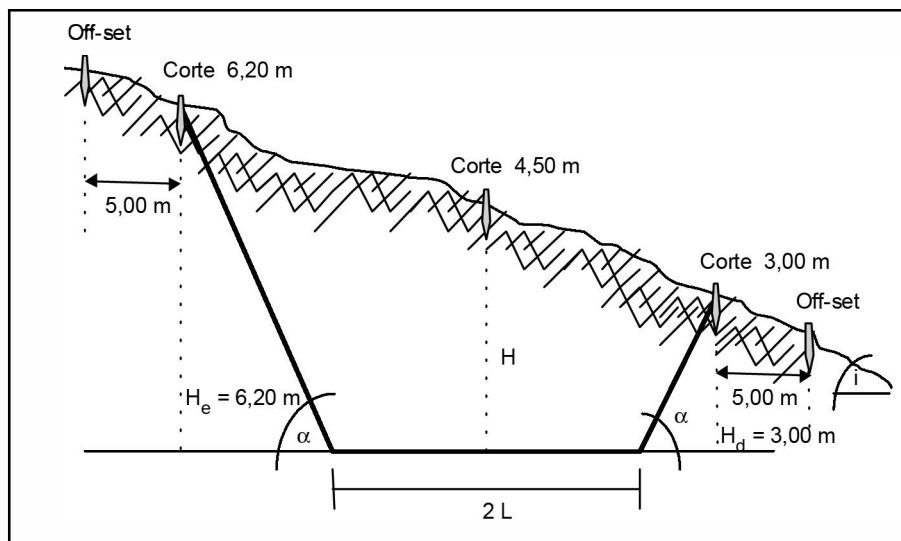



Fig 7-1. Marcação topográfica dos cortes

LEGENDA

H: altura do corte no eixo - cota vermelha do projeto;

2L: largura da plataforma

α: ângulo de talude de corte (do projeto)

i: ângulo de inclinação do terreno natural, na seção.

7-2. CONTROLE TOPOGRÁFICO DA EXECUÇÃO DOS CORTES

a. Na realidade, as estacas dos “off-set” não são colocadas na posição exata ficando afastadas, para maior segurança, 5 m de cada lado, já que as máquinas começam a escavação exatamente nesses pontos e os piquetes podem desaparecer na primeira passada dos equipamentos.

b. Nos pontos de “off-set” são colocados piquetes com a indicação da altura de corte (He e Hd). Através dessas marcações será feito o controle da altura de escavação pois a estaca do eixo, com a indicação da cota vermelha, desaparece logo no início dos trabalhos, não podendo ser restaurada, a não ser quando a profundidade de corte desejada seja atingida.

c. Assim, a escavação deve prosseguir até as imediações das alturas He e Hd quando os trabalhos serão paralisados. Faz-se nova locação do eixo, na plataforma inacabada do fundo do corte, a partir dos referidos pontos de “off-set”.

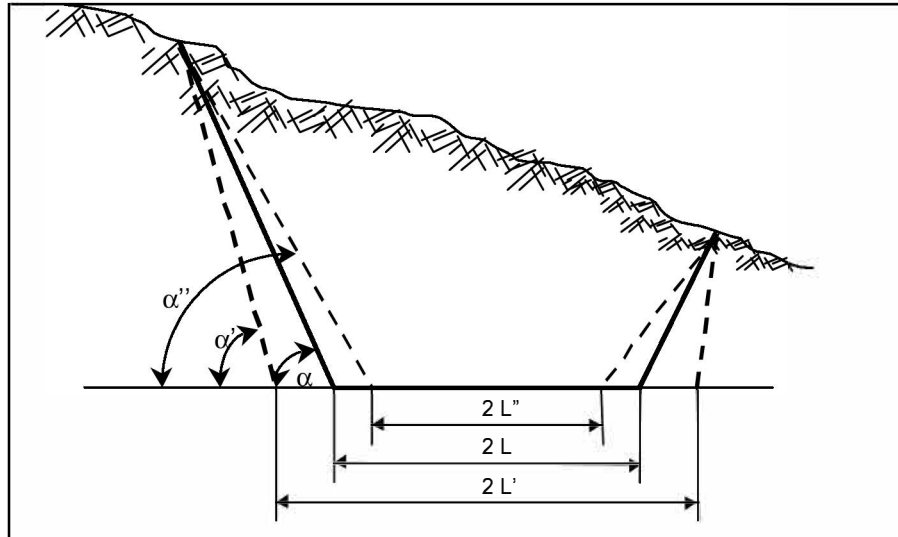



Fig 7-2. Alargamento ou estreitamento do corte

d. Em seguida, procede-se o nivelamento do terreno no eixo relocado, calculando-se as pequenas alturas de corte e elabora-se nova nota de serviço para o acabamento da plataforma.

e. Esse acerto final da plataforma é, em geral, feito com a lâmina da motoniveladora, pois se trata de serviço de raspagem, ou seja, cortes de pequena altura e de precisão nas medidas.

f. Feito esse trabalho de acabamento, teremos a plataforma da estrada perfeitamente conformada ao greide do projeto. É possível admitir um erro de ± 0,10 m.

g. É necessário, também, acompanhar a execução do corte, a fim de que seja obedecido o ângulo de talude (α) estabelecido no projeto, de maneira que sejam respeitadas as dimensões fixadas na seção transversal, especialmente a largura da plataforma.

h. Quando não existe tal controle, é muito comum os operadores das máquinas não executarem o corte do talude conforme o ângulo de projeto, de modo que a largura da plataforma poderá estreitar-se ou superar a dimensão correta, com a alteração involuntária do referido ângulo.

i. Sendo α (Fig 7-2) o ângulo de talude do corte, podem ocorrer duas hipóteses:

(1) o ângulo de talude executado α’ > α;

(2) ângulo de talude executado α” < α.

j. No primeiro caso a largura da plataforma será 2 L’ > 2 L e no segundo 2L” < 2L.

l. As especificações gerais de terraplenagem permitem a variação máxima de largura de + 0,20m para cada semiplataforma (L), não se admitindo variação para menos.

7-3. PROCESSO PRÁTICO DE CONTROLE DO ÂNGULO DE TALUDE

a. Constrói-se um gabarito, em triângulo retângulo, com sarrafos de madeira, cujos catetos obedeçam à mesma relação do ângulo do talude, ou seja, no caso mais comum, 3:2, ficando os respectivos catetos com as dimensões de 1,5 m e 1,0 m. (Fig 7-3)

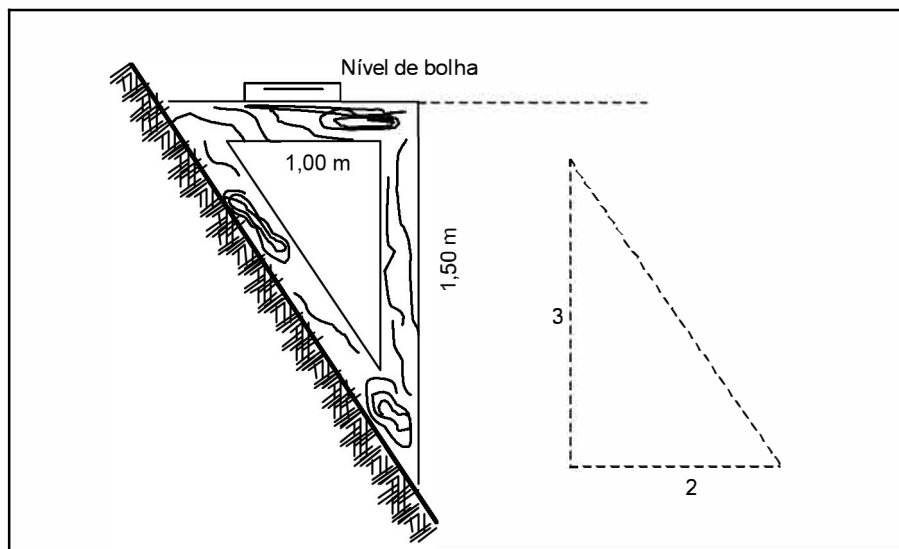



Fig 7-3. Gabarito de madeira

b. Aplica-se o triângulo com a hipotenusa sobre a superfície do talude e coloca-se um nível de bolha sobre o cateto superior. Quando a bolha estiver centrada, a hipotenusa deve se assentar perfeitamente sobre o talude.

c. Essas verificações necessitam ser feitas a cada 3.00 m de escavação, altura alcançada, em média, pela lâmina da motoniveladora para executar as correções que se fizerem necessárias.

7-4. ESCAVAÇÃO DE MATERIAIS DE 1ª CATEGORIA

a. O corte é um segmento da rodovia cuja implantação requer escavação do material constituinte do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto, que definem o corpo estradal.

b. Os cortes podem ser: (Fig 7-4)

(1) em seção plena (ou em caixão) - quando a implantação corresponde ao encaixe, completo, da seção transversal no terreno natural.

(2) em meia-encosta (seção mista) - quando a implantação corresponde ao encaixe, apenas parcial, da seção transversal no terreno natural, caso em que a plataforma apresenta parte em aterro.

(3) em raspagem - quando a sua altura não supera 0,40 m em seção plena ou 0,80 m em seção mista.

c. A seqüência construtiva dos cortes deve ser:

(1) locação topográfica do eixo, "off-set" e outras medidas iniciais;

(2) limpeza da faixa, remoção da vegetação e de obstáculos;

(3) remoção da camada de terra vegetal;

(4) preparo do corte;

(5) emprego dos equipamentos relacionados para as operações de corte e transporte;

(6) acabamento do corte.

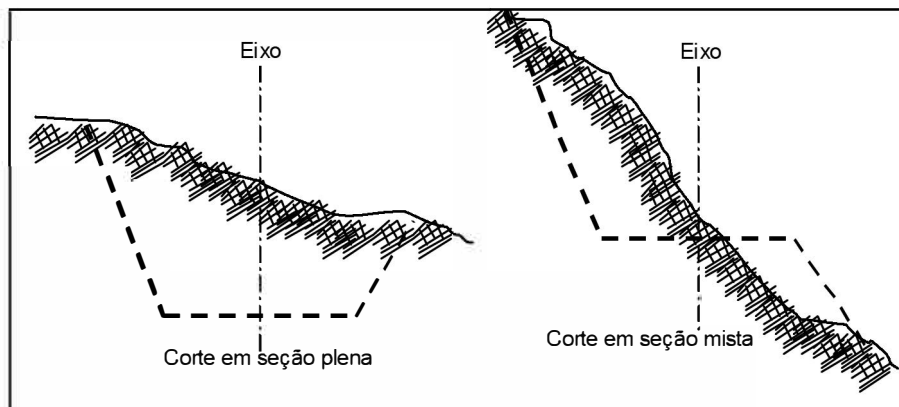



Fig 7-4. Cortes

d. Os equipamentos mais usados nas escavações de materiais de 1ª categoria são os tratores de lâmina e os "motoscrapers".

e. De um modo geral, toda a escavação de 1ª categoria, com distâncias curtas (<100 m), deverá ser executada com trator de lâmina, com o qual, para essas distâncias, obtêm-se os melhores resultados. Mesmo em distâncias maiores, todo o volume de corte possível deverá ser feito com esse equipamento e o restante pelas outras máquinas, "motoscrapers" ou carregadeiras e viaturas basculantes, dentro das respectivas faixas econômicas de distâncias.

f. O acabamento dos taludes e da plataforma, para conformá-los às cotas do projeto, será feito com motoniveladora.

g. Quanto aos solos, aqueles que forem julgados tecnicamente inadequa-

dos para a execução do aterro serão levados ao “bota-fora” e substituídos por volumes equivalentes de material de qualidade aceitável, obtidos em caixas de empréstimo.

h. Como regra geral, quando encontramos no corte solos de boa qualidade de suporte, devemos colocá-los nas camadas finais do aterro e que constituirão o subleito do pavimento, ainda que haja necessidade de estocá-los.

i. Se ocorrerem solos de ótima capacidade de suporte, será preferível estocá-los para o uso posterior em camadas de reforço do subleito ou mesmo na sub-base.

7-5. EMPRÉSTIMO E “BOTA-FORA”

a. Quando não há compensação entre os volume de corte e aterro, havendo excesso, as sobras serão colocadas em depósitos definitivos denominados “bota-fora”. Esses depósitos devem ser feitos em locais previamente escolhidos, junto aos aterros, alargando as plataformas ou modificando os caimentos das saias dos aterros, diminuindo-lhes as declividades, a fim de evitar o risco de escorregamento. Para melhor entrosamento das massas de terra, essa operação deve ser feita concomitantemente com a execução do aterro.

b. Quando o volume de terra dos cortes é insuficiente para o preenchimento total dos aterros é necessário recorrer-se aos “empréstimos”, desde que estes sejam constituídos por solos de qualidade aceitável. Em princípio, devem ser feitos junto aos cortes, pelo alargamento das plataformas e/ou diminuindo a inclinação dos taludes. Nos trechos em curva, sempre que possível, no lado interno, para melhoria da visibilidade.

c. Quando, por qualquer razão, for desaconselhável o empréstimo com alargamento dos cortes, poderão ser abertas caixas de empréstimo fora da faixa de domínio.

7-6. ESCAVAÇÃO DE MATERIAIS DE 2ª CATEGORIA

Para o desmonte desses materiais devem ser utilizados escarificadores ou “rippers”, que são montados na parte posterior dos tratores de esteiras de elevada potência e grande esforço trator (>50.000Kg). Recomenda-se, nesse caso, o emprego de equipamentos com mais de 250 HP, isto é, tratores pesados, da classe dos CAT D8, D9 ou D10.

7-7. ESCAVAÇÃO DE SOLOS BREJOSOS E TURFOSOS

a. Os solos brejosos ou turfosos são encontrados principalmente nos fundos de vale, transportados pelos agentes atmosféricos, em especial as águas pluviais e os cursos d’água, acumulando-se nos pontos mais baixos em sedimentos quase sempre horizontais. São constituídos por solos finos (argila e silte), com apreciável porcentagem de matéria orgânica e altos teores de umidade, pois, em geral, situam-se abaixo do nível do lençol freático.

b. Trata-se de material com baixíssima capacidade de suporte, de comportamento elástico e alta compressibilidade, sendo totalmente impróprio para utilização em aterros e, especialmente, como terreno de fundação para qualquer obra de terra.

c. Quando encontrados em obras de movimento de terra é necessário sua remoção, ou pelo menos a tentativa de estabilização para possibilitar o seu emprego como terreno de fundação.

d. A remoção dos solos brejosos implica em dois problemas principais: presença do lençol freático em níveis elevados e presença de solos instáveis, compreensíveis, de consistência muito mole e de baixa capacidade de suporte, impedindo a circulação de viaturas e equipamentos, inclusive os sobre esteiras.

e. A existência do lençol freático, em nível elevado, cria um sério problema à remoção desses solos. Após sua retirada, acumula-se no local grande quantidade de água que, misturada com partículas de solo, forma o lodo, que deverá ser eliminado. Caso contrário tornará instável o aterro construído. É interessante notar que esse tipo de solo brejoso, quando apresenta baixos teores de umidade, pode atingir razoável capacidade de suporte. Deve-se, como primeira tentativa de consolidação, fazer o rebaixamento do lençol freático, diminuindo o excesso de umidade através de valas laterais que iniciam a secagem do terreno.

f. Pode-se tentar, também, o rebaixamento do lençol com uso dos processos usuais, mas esses métodos exigem que o solo natural seja permeável, sendo aplicados, com sucesso, em solos arenosos, tornando-se pouco eficiente nos solos argilosos.

g. A baixa capacidade de suporte e a consistência muito mole desse material impedem o tráfego de quaisquer veículos, mesmo vazios, permitindo, às vezes, a passagem de tratores de esteiras, embora de forma precária. Nos casos mais desfavoráveis o próprio tráfego de equipamentos de esteiras é impossível.

(1) Escolha dos equipamentos - As considerações já feitas demonstram que, entre os equipamentos disponíveis, somente as escavadeiras montadas sobre esteiras podem ser utilizadas na remoção dos solos brejosos.

(a) O transporte deve ser feito com veículos leves, trafegando em pistas preparadas com material escolhido e cuja espessura não seja inferior a 1 m, para suportar as cargas aplicadas com um mínimo de afundamento dos pneus. Dentre os equipamentos utilizados, a preferência recai para as retroescavadeiras e as providas com lança “drag-line”. As primeiras possuem a vantagem de maior rapidez e facilidade de manobra, além de demandarem pouco espaço para sua operação.

(b) As escavadeiras com “drag-line” são mais lentas e ocupam maior área de trabalho, apresentam, porém, grande alcance, permitindo a remoção de camadas extremamente moles sem necessidade de se trafegar sobre elas.

(c) A Tab 7-1. fornece os dados técnicos de alguns equipamentos disponíveis para a realização desses trabalhos, o que facilitará a seleção do equipamento mais adequado para cada caso.

RETROESCAVADEIRA			
Modelo	Alcance máximo	Profundidade máxima de escavação (m)	
CAT - 215 CAT - 225 CAT - 235 CAT - 245	Até 9,25 Até 10,16 Até 11,91 Até 14,12	Até 6,37 Até 7,04 Até 8,08 Até 9,75	
ESCAVAÇÃO COM "DRAG-LINE"			
Modelo	Raio de giro	Profundidade máxima (m)	Alcance máximo (m)
Bucyrus (lança 35") Bucyrus (lança 50") Bucyrus (lança 60")	9,00 12,60 15,00	Até 5,00 Até 7,50 Até 9,00	Até 12,00 Até 16,00 Até 19,00

Tab 7-1.

(2) Método de ataque da escavação - Para a remoção de solos turfosos recomenda-se:

(a) retirada do material imprestável em faixas alternadas - A retirada do material não deve ser feita de forma indiscriminada, mas, ordenadamente, através da abertura de caixas alternadas, isto é, se forem abertas duas ou mais valas simultaneamente, convém que se deixe entre elas uma faixa de terreno natural ainda intocado. Este procedimento facilita o trabalho porque limita bastante a quantidade de água e de lodo a ser retirada de cada vez. Quanto à largura e número dessa faixas, a fixação de valores dependerá das particularidades locais e do equipamento de escavação escolhido;

(b) esgotamento da água do lençol freático - Como nos fundos de vale o lençol freático se encontra em níveis elevados, após a abertura dos vales acumula-se grande volume de água que deverá ser retirada com bombas de sucção do tipo submersível, apropriada ao esgotamento de água e lodo;

(c) limpeza do lodo remanescente:

1) após o esgotamento, permanece no fundo da vala uma camada de lodo de espessura variável que, se não for removida, pode comprometer o comportamento do aterro executado no local, tornado-o instável e prejudicando a compactação; (Fig 7-6)

2) o equipamento indicado para a retirada de lodo é a escavadeira “drag-line”, provida de caçamba perfurada, que permite o escoamento da água, mas retém a matéria sólida lodosa.

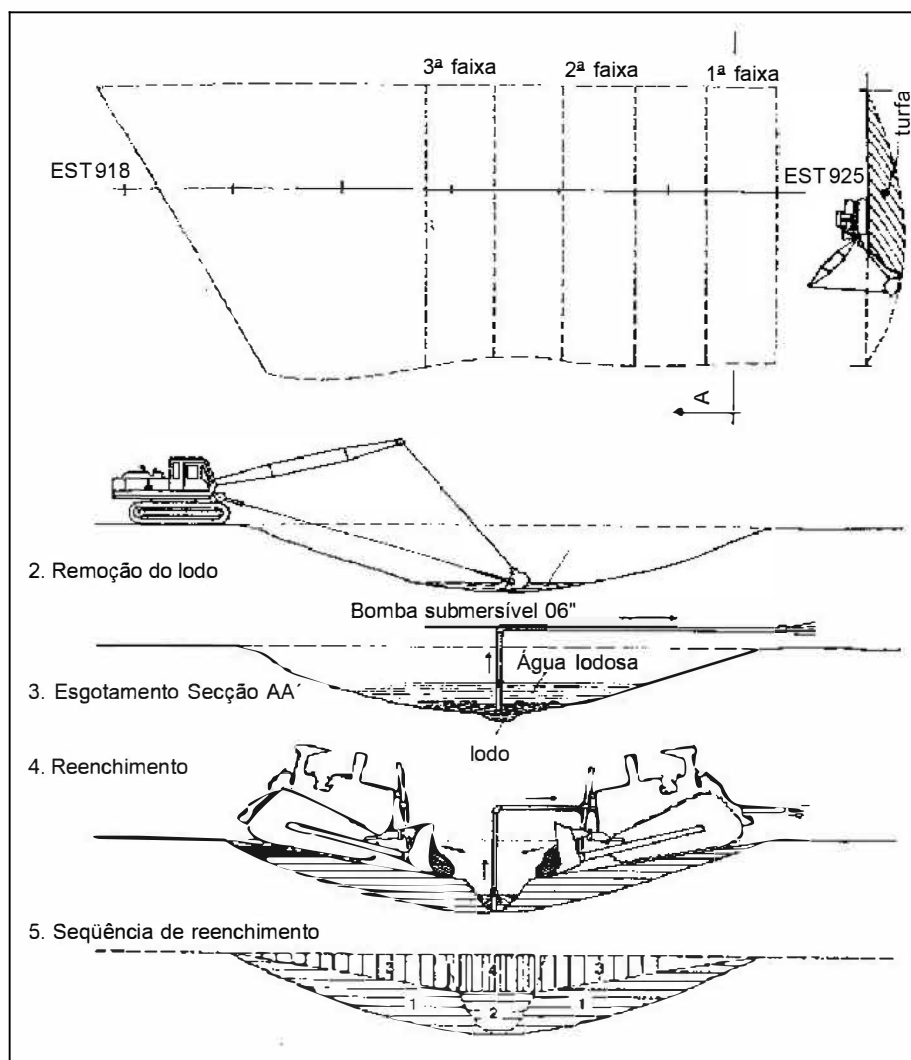



Fig 7-6. Remoção de solos turfosos e reenchimento da vala

(3) Reenchimento das valas com material importado: Se houver a troca de solos, isto é, se a camada brejosa for substituída por novo aterro com solo escolhido, o reenchimento das faixas escavadas deve obedecer aos seguintes preceitos:

(a) imediatamente após a retirada do lodo e da água acumulada deve-se lançar as primeiras camadas com solo, de preferência bastante arenosos, para permitir a percolação da água e impedir que esta atinja as camadas inferiores do aterro por capilaridade, formando-se um colchão de, pelo menos, 50 cm de espessura;

(b) deve-se iniciar o espalhamento do solo em camadas, a partir da extremidade para o centro, segundo a seção transversal da vala, trabalhando-se nos dois lados. É importante deixar um caimento nas camadas para que as águas pluviais atinjam a parte mais profunda da vala e onde possam ser removidas por bombas de sucção (Fig 7-6), permanecendo um trecho aberto entre os dois lados do aterro, que será fechado posteriormente. Embora possa parecer trabalhoso, este procedimento é particularmente indicado na época das chuvas, evitando que a água se acumule no aterro, umedecendo-o e prejudicando a compactação;

(c) a experiência mostra que as primeiras camadas espalhadas até 1,0 m de altura permanecem muito úmidas, o que impede o seu adensamento adequado. Nesse caso deve-se obter um mínimo de adensamento através de repetidas passagens dos equipamentos sem se preocupar com o grau de compactação atingido;

(d) o próprio solo do aterro desloca, através de seu peso, para o ponto mais baixo da vala, algum resíduo de lodo ainda presente e que poderá ser retirado posteriormente;

(e) completada uma faixa passa-se à seguinte, assegurando-se um piso firme para os veículos de transporte trafegarem na etapa posterior;

(f) o uso de faixas alternadas permite o emprego de uma ou mais equipes de escavação e transporte simultaneamente, visando a rapidez dos serviços, ao mesmo tempo que possibilita o trabalho conjunto sem interferências ou congestionamentos que afetem a produção.

CAPÍTULO 8

ATERROS

8-1. LOCAÇÃO TOPOGRÁFICA DOS ATERROS

Para a execução dos aterros a providência inicial é a marcação dos pontos de "off-set" dos aterros. (Fig 8-1)

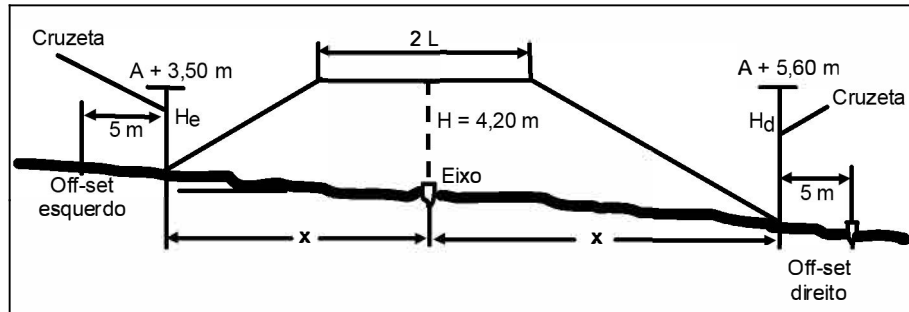



Fig 8-1. Marcação Topográfica dos Aterros

8-2. CONTROLE TOPOGRÁFICO DA EXECUÇÃO DOS ATERROS

a. As estacas de "off-set" também são colocadas, para maior segurança, a 5 m do local exato. Nos pés do aterro são fixadas cruzetas de armação indicando as alturas da plataforma em relação aos pontos de "off-set".

b. Essas cruzetas servem para o controle de altura do aterro, o que não é possível através de estacas do eixo locado, logo recobertas de terra.

c. Na hipótese de aterros de grande altura, as cruzetas devem ser escalonadas até que se atinja a cota do greide definitivo da plataforma. (Fig 8-2)

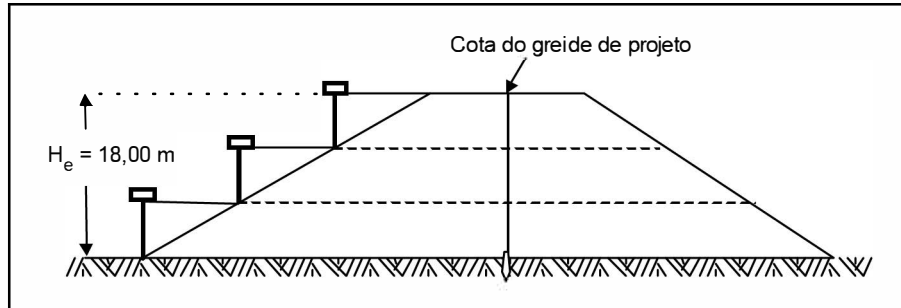



Fig 8-2. Controle da Progressão da Altura do Aterro

d. Admite-se um erro de ± 5 cm entre as cotas da plataforma da terraplanagem em relação às cotas do projeto.

e. O controle será feito pela relocação do eixo e através do seu nivelamento. Aqui também as operações de acabamento serão feitas com a lâmina da motoniveladora.

f. O controle das rampas poderá ser feito com o uso de gabarito de madeira, à semelhança do que já foi dito no caso dos cortes, alterando-se apenas a relação entre os catetos, que será de 3 (três) na horizontal, para 2 (dois) na vertical (3:2). Pode-se também executar o mesmo controle com o uso de teodolito e mira graduada. (Fig 8-3)

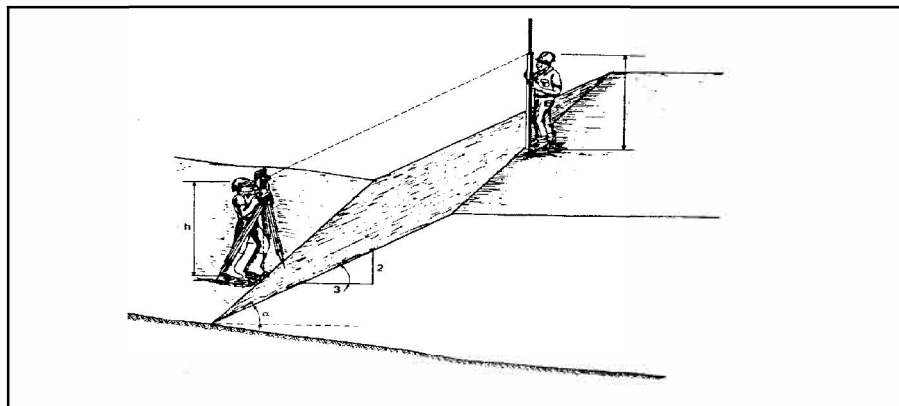



Fig 8-3. Controle topográfico do ângulo de talude

g. Com o aparelho fixo no ponto de “off-set” real, marca-se o ângulo a (no caso 33º 41’) no círculo vertical e colima-se a mira, colocada na crista do aterro. Se a inclinação do talude estiver correta será lida na mira a altura h, igual à altura do aparelho.

8-3. ESTABILIDADE DOS ATERROS

a. A execução dos aterros implica dois problemas principais, quanto à sua estabilidade: fundação e compactação.

b. Ainda que a compactação da massa do aterro deva ser feita com todos os cuidados técnicos, a sua estabilidade poderá ficar prejudicada irremediavelmente se o mesmo não tiver como fundação uma camada de bom suporte, resultando em recalques excessivos ou, eventualmente, em escorregamentos laterais que comprometerão o seu uso.

c. Algumas camadas têm capacidade de suporte tão baixa, além de possuírem alta compressibilidade, que qualquer aterro executado sobre elas apresentaria um comportamento indesejável no que se refere aos recalques ou escorregamentos. Três são os principais tipos de ocorrências.

(1) Recalque por adensamento - Resulta da pressão proveniente do peso próprio e das cargas móveis que trafegam sobre o aterro, nas camadas compressíveis, ocasionando a diminuição lenta do volume de vazios pela expulsão da fase líquida, devido ao aumento da pressão neutra, resultando no adensamento da camada e, em conseqüência, na ocorrência de recalques. (Fig 8-4)

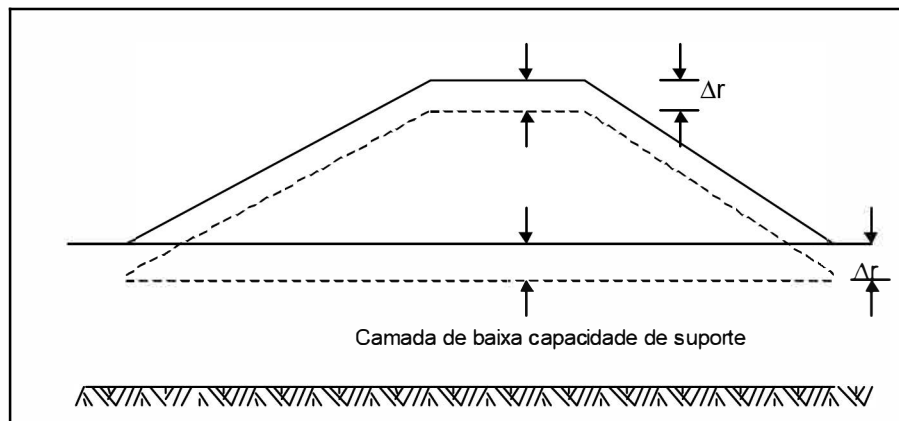



Fig 8-4. Recalque por adensamento

(2) Ruptura por afundamento - Pode ocorrer quando a camada portante for de muito baixa capacidade de suporte e atingir grande profundidade. Nesse caso, o corpo do aterro sofre um deslocamento vertical e afunda por igual no terreno mole, havendo a expulsão lateral do material de má qualidade, com a formação de bulbos. (Fig 8-5)

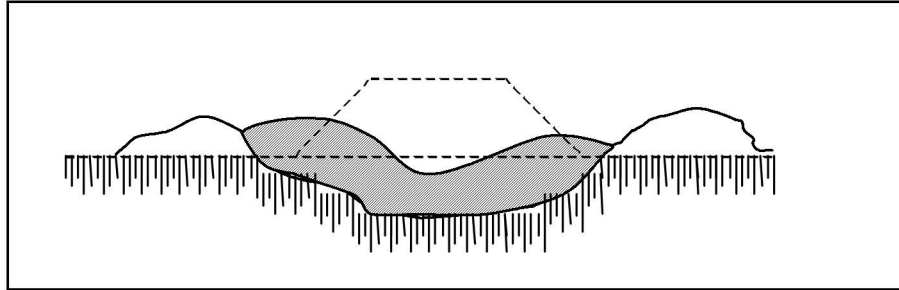



Fig 8-5. Ruptura por afundamento

(3) Ruptura por escorregamento - A ruptura por escorregamento acontece quando o aterro é construído sobre uma camada muito mole, com baixa resistência ao cisalhamento e que se apóia sobre uma mais resistente. Na ocasião de chuvas intensas, o aumento da pressão hidrostática, devido à elevação do lençol freático, se traduz pelo aumento da pressão neutra, reduzindo sensivelmente a resistência ao cisalhamento, formando uma superfície de escorregamento que afeta o aterro, levando-o à ruptura. (Fig 8-6)

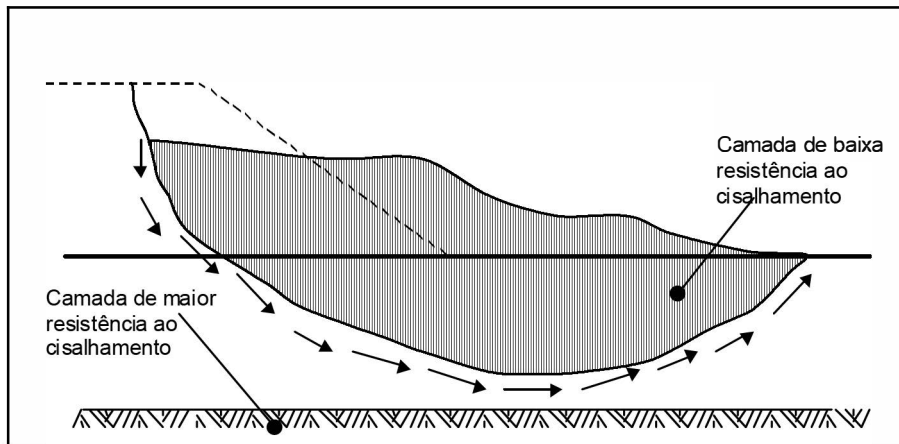



Fig 8-6. Ruptura por escorregamento

d. Quando os solos muito moles, materiais com grandes porcentagens de matéria orgânica, solos brejosos ou turfosos, impõe-se, antes da execução do aterro, a adoção de alguma medida visando à estabilização do terreno de fundação.

e. Os processos de consolidação mais utilizados são:

(1) remoção de solo de má qualidade e substituição por material de melhores características;

(2) deslocamento do material instável;

(3) utilização de bermas de equilíbrio.

8-4. REMOÇÃO DO SOLO DE MÁ QUALIDADE E SUBSTITUIÇÃO POR MATERIAL DE MELHORES CARACTERÍSTICAS

a. Este processo é aplicável quando a camada brejosa é de pequena espessura, encontrando-se logo abaixo uma de bom suporte.

b. A experiência mostra que, até 3 m de profundidade, a remoção é o processo mais econômico e rápido de consolidação, se comparado com os outros métodos.

c. A escavação neste caso, é trabalho típico para as escavadeiras com “drag-line” que podem operar sobre a camada de topo, a qual, geralmente, apresenta um mínimo de suporte, por se encontrar com teor de umidade baixo. Mas, à medida que se aprofunda a vala, o material se torna muito mole, especialmente depois de atingir o nível de lençol freático, quase sempre elevado nas baixadas.

d. O material de reposição deverá ser, de preferência, arenoso, para permitir a percolação da água (graças a sua alta permeabilidade), conseguindo-se, dessa forma, alguma compactação nessa camada, quando for impraticável o uso de equipamentos. Todavia, com bombas de sucção pode-se conseguir o rebaixamento do lençol e proceder-se ao lançamento de materiais secos, permitindo o uso de equipamentos de compactação.

e. Este processo apresenta como vantagens a rapidez de execução e a possibilidade de se saber, com certeza, se todo material imprestável foi, de fato, removido, garantindo-se a homogeneidade do aterro.

8-5. DESLOCAMENTO DO MATERIAL INSTÁVEL

a. Quando a camada é muito mole, a ponto de não permitir a passagem das máquinas, ou possui espessura muito grande, tornando muito difícil a sua remoção, faz-se necessário adotar alguns procedimentos específicos.

b. Um dos processos utilizados consiste em aproveitar o peso do próprio aterro para provocar o deslocamento do material instável, lateralmente, através da mobilização de tensões de cisalhamento que ultrapassem a sua capacidade de resistência. (Fig 8-7)

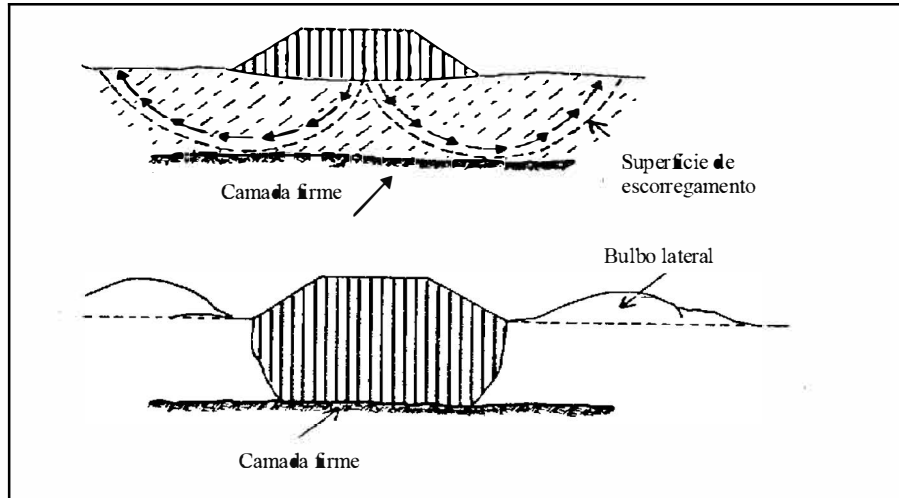



Fig 8-7. Método de deslocamento

c. Assim, com a expulsão da camada mole, o material do aterro afunda, vindo a ocupar, parcialmente, o espaço antes ocupado por ela. A porção deslocada vem aflorar na superfície, ao lado do aterro, elevando o terreno natural pela formação de bulbos.

d. Prosseguindo-se, obtém-se a expulsão total da camada mole, substituindo-a por solo de melhor qualidade, até encontrar o terreno firme subjacente.

e. As desvantagens do processo estão no consumo excessivo de terra, que ocorre freqüentemente para se conseguir a estabilização do aterro. Outra dificuldade é não ser possível o controle efetivo da homogeneidade da camada, sendo normal a permanência de bolsões de material mole que podem prejudicar o comportamento do aterro, sem que haja possibilidade de removê-los.

8-6. UTILIZAÇÃO DE BERMAS DE EQUILÍBRIO

a. Sob certas condições é possível evitar-se o deslocamento dos materiais instáveis, durante a execução do aterro, construindo-se camadas laterais, que servem de contrapeso aos empuxos resultantes da carga do aterro principal, denominadas bermas de equilíbrio.

b. Evitam a formação dos bulbos e o deslocamento do material instável, bem como o afundamento do material de boa qualidade do aterro, obtendo-se um processo de estabilização rápido e econômico. (Fig 8-8)

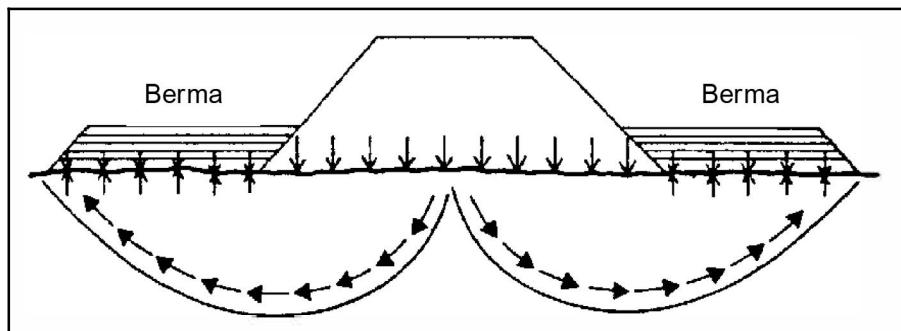



Fig 8-8. Bermas de equilíbrio

8-7. EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DOS ATERROS

a. Pode-se afirmar que a construção dos aterros é a fase em que maiores cuidados devem ser tomados no emprego correto das técnicas e procedimentos recomendados, pois a má execução desse trabalho tem sempre conseqüências muito negativas. O maior problema é quanto à execução dos aterros sem que o adensamento desejável seja obtido em todo o maciço de terra. As falhas cometidas refletem-se, às vezes, decorrido muito tempo após a construção, em recalques excessivos, escorregamentos da saia do aterro e erosão rápida devido à ação das águas pluviais.

b. A compactação é trabalho de muita responsabilidade, existindo fatores adversos e aleatórios que perturbam sua operação como: chuvas, excesso de umidade do solo e variação imprevisível nas suas características e que contribuem para a má qualidade do aterro.

c. Execução dos aterros: Algumas regras básicas devem ser obedecidas, visando o bom desenvolvimento e a qualidade dos serviços:

(1) iniciar o aterro sempre no ponto mais baixo, em camadas horizontais;

(2) prever o caimento lateral ou longitudinal para o rápido escoamento das águas pluviais, evitando o seu acúmulo em qualquer ponto;

(3) há três etapas distintas na execução: o lançamento do material pelo equipamento de transporte; o espalhamento em camadas e a compactação propriamente dita. Sempre que as condições locais permitirem, os serviços devem ser organizados para que se tenha uma ou mais frentes de trabalho em que as etapas citadas sejam devidamente escalonadas. Obtêm-se, assim, mais flexibilidade e maior rendimento na operação, minimizando-se as interferências do tempo e das falhas mecânicas dos equipamentos. (Fig 8-9)

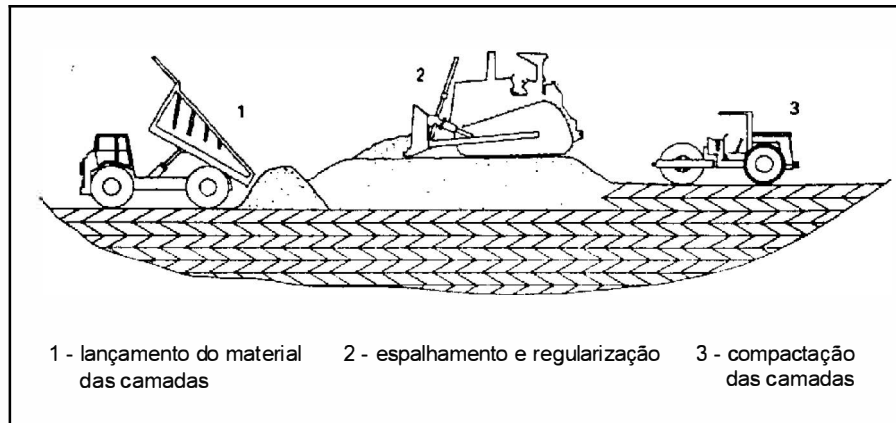



Fig 8-9. Etapas de execução dos aterros

(4) a situação mais desfavorável durante a execução do aterro ocorre quando a camada está espalhada e o material solto é pulverizado.

d. Havendo precipitações pluviais nessa etapa, a percolação da água aumenta a umidade do solo muito acima da ótima, sendo necessário uma secagem posterior. Em materiais argilosos, a diminuição do teor de umidade é muito difícil e demorada, quer seja feita por evaporação natural, quer seja induzida através de equipamentos especiais para revolver o solo com arado, grades ou lâmina da motoniveladora

e. É preferível não iniciar os trabalhos de compactação quando há grande possibilidade da ocorrência de chuvas. Se a camada já estiver lançada e regularizada, havendo o risco de precipitação imprevista e repentina, faz-se a passagem de rolos lisos ou pneumáticos para "selar" a camada, isto é, o seu topo será adensado, melhorando a impermeabilidade e evitando que a água nela penetre, minimizando o aumento indesejável da umidade. Quando os trabalhos forem reiniciados basta escarificar a camada selante e misturá-la com solo mais seco.

f. A experiência mostra que, na temperatura ambiente, o teor de umidade da atmosfera e a incidência dos raios solares são os fatores que mais influem na evaporação da umidade, permitindo uma rápida secagem do solo. Se as condições permanecerem desfavoráveis havendo, por exemplo, baixas temperaturas, teor de umidade do ar elevado e tempo nublado será melhor rebaixar a umidade do solo artificialmente.

g. Os trabalhos de terraplanagem executados em terrenos de topografia desfavorável implicam aterros de grande altura e taludes de grande extensão. Como os equipamentos usuais não podem aproximar-se até a linha de crista do aterro, permanece uma espessura variável (cerca de 30 as 50 cm), que não recebe o número suficiente de passadas do rolo compactador, ficando com baixo grau de compactação.

h. Posteriormente, quando ocorrem chuvas fortes, a água percola entre a parte mal compactada e o solo bem adensado, quase impermeável, formando uma superfície de escorregamento que produz deslizamentos parciais, com o arrancamento da camada protetora de grama, iniciando, assim, o processo de erosão do aterro.

i. Nessas condições, embora não seja fácil, torna-se necessário a melhoria da compactação da superfície da saia do aterro.

j. Uma solução é o uso de compactadores de pequeno porte que descem pela referida superfície rebocados por tratores, compactando-a adequadamente. (Fig 8-10)

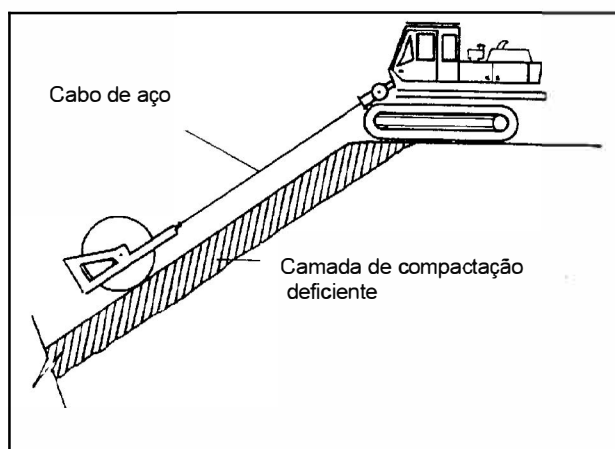



Fig 8-10. Compactação dos taludes

CAPÍTULO 9

TRAFEGABILIDADE DOS SOLOS

ARTIGO I

INTRODUÇÃO

9-1. GENERALIDADES

É a capacidade dos solos de suportar a passagem de uma viatura, pelo mesmo local, um determinado número de vezes. O estudo da trafegabilidade dos solos é de fundamental importância para a Eng de todos os escalões, particularmente para E Bda em face da maior agilidade das operações nesse escalão.

9-2. DEFINIÇÕES BÁSICAS

a. Capacidade de carga - A capacidade de um solo suportar uma viatura sem que ocorra o seu assentamento.

b. Capacidade de tração - A capacidade de um solo resistir à pressão longitudinal da banda de rodagem do pneu, durante o deslocamento da viatura.

c. Índice de Cone (IC) - Índice de resistência ao cisalhamento de um solo, obtido com o penetrômetro de cone. Um número adimensional representando a resistência do solo frente à penetração de um cone de 30º com 0,5 pol^2 de área de base (na realidade, carga em libras sobre a área da base do cone, em polegadas quadradas).

d. Remoldagem - A transformação ou trabalho de um solo submetido a tráfego ou ao teste de remoldagem. A remoldagem pode ter um efeito benéfico, neutro ou prejudicial, resultando em mudança da resistência do solo.

e. Índice de Remoldagem (IR) - A proporção entre a resistência do solo remoldado e a resistência original.

f. Índice de Cone Corrigido (ICC) - O índice de cone multiplicado pelo índice de remoldagem que expressa o grau de resistência do solo em um ponto sujeito a tráfego ininterrupto.

g. Camada crítica - A camada do solo em que o ICC é considerado a medida mais significativa da trafegabilidade. Sua profundidade varia com o peso e tipo da viatura e o perfil do solo, mas é, normalmente, a camada situada de 15 a 30 cm (6" a 12") abaixo da superfície.

h. Índice de Cone da Viatura (ICV) - É o índice atribuído a uma viatura que indica a resistência mínima do solo, em termos de ICC, necessária para 50 passadas da viatura.

i. Adesividade - A capacidade de um solo aderir no material rodante das viaturas.

j. Deslizância - A pequena capacidade de tração da superfície de um solo devido à sua lubrificação pela água ou lama.

l. Índice de Mobilidade - Um número adimensional que resulta da consideração de algumas características das viaturas.

m. Esforço máximo de tração - O máximo esforço contínuo de tração que uma viatura pode exercer. É expresso como proporção ou percentagem de seu próprio peso.

n. Solo de graduação fina - Um solo em que mais de 50% em peso dos grãos passam na peneira Nr 200 (menor que 0,074 mm de diâmetro)

o. Solo graúdo - Um solo em que mais de 50% em peso dos grãos são retidos na peneira Nr 200 (igual ou maior que 0,074 mm de diâmetro).

p. Solo arenoso com finos, mal drenado - Um solo arenoso em que a quantidade de água tem grande influência nas características de trafegabilidade. Estes solos reagem ao tráfego de modo similar aos solos finos. Normalmente contém 7% ou mais de material passando na peneira Nr 200.

9-3. ASPECTOS BÁSICOS DA TRAFEGABILIDADE

a. Resistência do Solo - As capacidades de carga e de tração dos solos dependem de suas resistências ao cisalhamento. A resistência ao cisalhamento é medida pelo penetrômetro de cone e é expressa em termos de IC. Desde que a resistência de um solo possa aumentar ou diminuir quando carregado ou perturbado, os testes de remoldagem são necessários para medir o ganho ou a perda da resistência esperada do solo. Uma comparação do ICC indica se o solo pode ou não suportar a viatura. Por exemplo, se um solo tem um IC de 120 e um IR de 0,60 em sua camada crítica, pode ser esperado que sua resistência caia

para 120 x 0,60 = 72, sob tráfego. Assim, considera-se que tal solo não é trafegável por viaturas com ICV maiores que 72.

b. Adesividade - A operação de viaturas em solos úmidos de graduação fina, algumas vezes pode ser prejudicada seriamente pela adesividade. Sob condições extremas, solos pegajosos podem se acumular nas rodas de uma viatura a ponto de dificultar o deslocamento e direção. Normalmente, a adesividade é problemática somente quando ocorre em solos de baixa capacidade de carga (solos finos).

c. Deslizância - A presença de água em excesso ou de uma camada de solo plástico e brando sobre uma camada de solo firme pode produzir uma superfície escorregadia, que pode dificultar, ou mesmo imobilizar, a direção de todas as viaturas sobre rodas. A deslizância pode ser problemática, ainda, quando associada com solos de alta capacidade de carga.

d. Variação da trafegabilidade com as condições meteorológicas - As mudanças nas condições meteorológicas produzirão mudanças na trafegabilidade de um solo. Em períodos chuvosos, os solos finos passam por um aumento de umidade, com resultante aumento de deslizância, adesividade e diminuição da resistência, enquanto que em períodos secos os efeitos são opostos. As areias soltas melhoram a trafegabilidade pelo aumento da coesão como resultado de períodos chuvosos e, durante os períodos secos, voltam ao estado solto e de menor trafegabilidade.

e. Validade das informações - As características de trafegabilidade medidas em uma determinada época não podem ser aplicadas mais tarde, a menos que seja feito um estudo completo sobre as variações na resistência do solo causadas pelas condições meteorológicas. Encontram-se em andamento estudos que deverão permitir a previsão dos efeitos das condições meteorológicas na trafegabilidade dos solos. Atualmente, as informações disponíveis devem ser usadas com bom senso.

ARTIGO II

INSTRUMENTO E TESTES PARA MEDIDAS DE TRAFEGABILIDADE

9-4. EQUIPAMENTO PARA TESTE DA TRAFEGABILIDADE DOS SOLOS

a. Introdução

(1) As medidas da trafegabilidade são feitas com o auxílio do equipamento para teste da trafegabilidade dos solos. O peso do conjunto completo é 8,6 kg. É transportado nos moldes de uma mochila. (Fig 9-1)

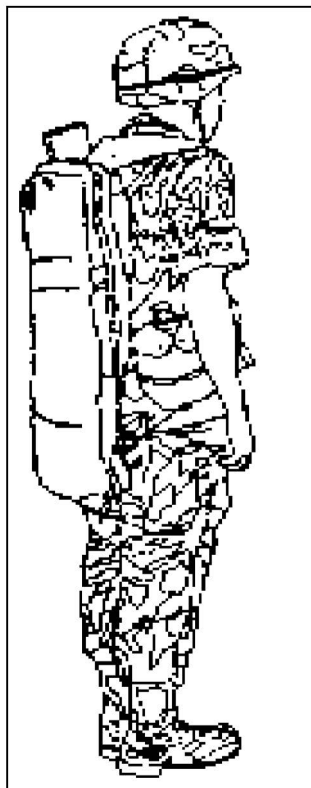



Fig 9-1. Transporte

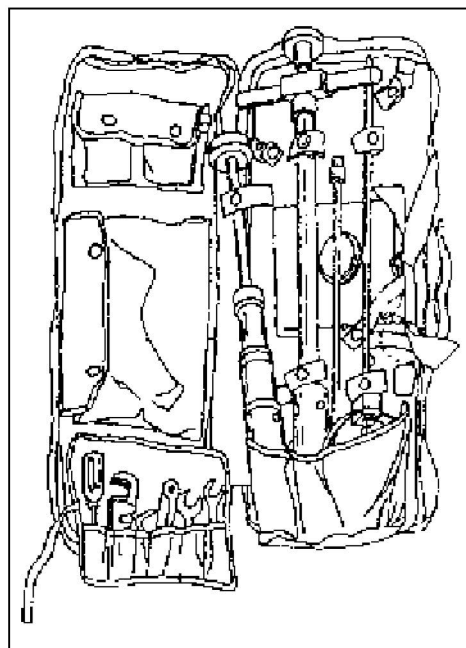



Fig 9-2. Estojo de lona

(2) Composição do equipamento

(a) 1 (um) estojo de lona; (Fig 9-2)

(b) 1 (um) penetrômetro de cone

(c) 1 (um) equipamento extrator e de remoldagem de solo, que inclui:

1) 1 (uma) haste de aço de 3/8" e um cone de 0,2 pol

2) 1 (uma) haste de aço de 5/8" com pé

3) 1 (um) punho

4) 1 (um) martelo de 1,14 Kg (2,5 lb)

5) 1 (um) cilindro

6) 1 (uma) base com pino

(d) 1 (uma) bolsa de ferramentas, que inclui:

1) 2 (duas) chaves de porca de 1/2" x 9/l6"

2) 1 (uma) chave inglesa STILLSON de 6"

3) 1 (uma) combinação de chave de porca e chave de parafuso de 1/4"

4) 1 (uma) chave de porca ALLEN de 3/16"

5) 1 (uma) chave de fenda de 2" com ponta de 1/8"

9-5. PENETRÔMETRO DE CONE

a. Princípio de funcionamento

(1) Quando o cone é forçado contra o solo, o anel dinamométrico é deformado proporcionalmente à força aplicada. O valor da força necessária para mover o cone, vagarosamente, através de uma dada superfície, é traduzido em pressão, a qual é indicada no mostrador do micrômetro dentro do anel. Esta pressão é considerada como sendo um índice da resistência ao cisalhamento do solo e é chamada de IC do solo naquela superfície. A variação do mostrador é de 0 a 300 psi. O anel dinamométrico e o punho são usados com uma haste de aço de 3/8" de diâmetro e 19" de comprimento, para testes de remoldagem em areias com finos mal drenadas. O penetrômetro de cone pode ser equipado com a haste de alumínio e o cone de 0,5 pol2 (para solos finos) ou com a haste mais esbelta de aço e o cone de 0,2 pol^2 (para areias com finos mal drenadas). Quando for utilizado o cone de 0,2 pol^2 a leitura do micrômetro deve ser multiplicada por 2,5.

(2) Para saber qual cone utilizar, é, portanto, necessário que o operador saiba identificar o solo que terá seu IC verificado, ou seja:

(a) solos finos (cone de 0.5 pol^2);

(b) areias com finos, mal drenada (cone de 0.2 pol^2).

b. Composição do Penetrômetro - O penetrômetro de cone é o principal instrumento usado na avaliação da trafegabilidade de solos, e consiste em:

(1) 1 (um) cone de 30º com 0,5 pol2 de área de base;

(2) 1 (uma) haste de alumínio de 19" de comprimento e 5/8" de diâmetro;

(3) 1 (um) anel dinamométrico;

(4) 1 (um) mostrador micrométrico;

(5) 1 (um) punho.

c. Utilização do penetrômetro

(1) Inspeção - Inspecionar o penetrômetro antes de usar para certificar-se de que todas as porcas, parafusos e juntas estão apertadas e que o suporte do micrômetro está em contato com o bloco-suporte do anel dinamométrico.

(2) Calibragem - Deixar o penetrômetro pender verticalmente, segurando-o pelo punho e girando a face do mostrador do micrômetro até que o "zero" esteja sob a agulha. Observar que, quando o instrumento é mantido na vertical entre as pontas dos dedos e deixado repousar sobre seu cone, o mostrador registrará em torno de 2 psi, pressão que corresponde ao peso total do instrumento (4 lb).

(3) Operação

(a) Colocar as mãos superpostas sobre o punho, com as palmas para baixo e, tanto quanto possível, em ângulo reto, para minimizar a carga excêntrica do anel dinamométrico e para ajudar a manter a haste na vertical. As posições de trabalho podem ser "de pé" ou "deitada". (Fig 9-3 e 9-4)

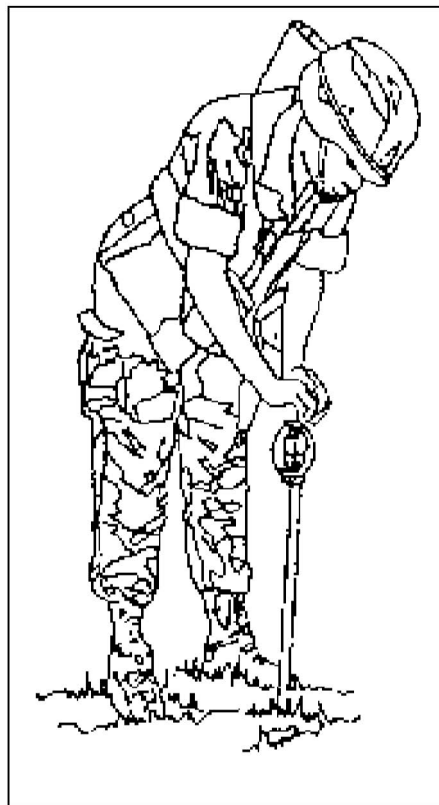



Fig 9-3. Posição de pé

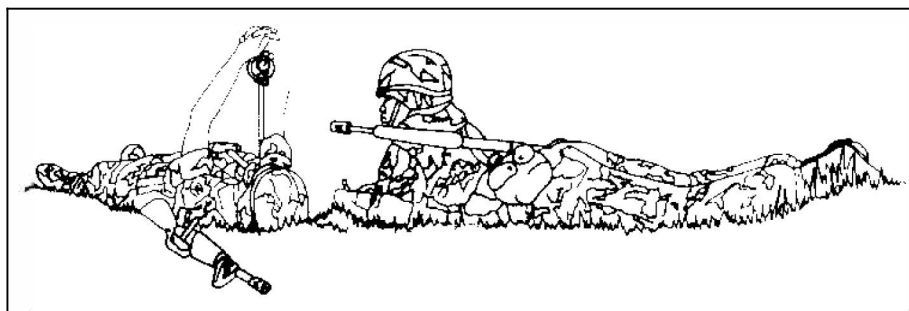



Fig 9-4. Posição deitado

(b) Aplicar força até que ocorra um movimento lento e uniforme para baixo.

(c) Fazer uma leitura no mostrador exatamente quando a base do cone estiver rente à superfície do solo. Continuar o movimento lento e uniforme

para baixo e fazer sucessivas leituras no mostrador em intervalos apropriados, normalmente de 15 cm. Se for necessário interromper, por qualquer motivo, a progressão para baixo do penetrômetro de cone, ela poderá ser retomada sem efeitos adversos nas leituras.

(4) Cuidados

(a) Manter o instrumento na vertical.

(b) Não tentar fazer leituras maiores que a capacidade do mostrador, pois poderá pressionar excessivamente o anel dinamométrico.

(c) Se a capacidade do mostrador for ultrapassada com uma penetração inferior a 45 cm (18"), fazer outra penetração nas proximidades porque há possibilidade de o cone ter atingido um fragmento de rocha isolada ou outro pequeno objeto rígido.

(d) Não retirar o instrumento pelo anel, mas sempre pela haste ou pelo punho.

(e) Ter muito cuidado para ler o IC na profundidade adequada.

d. Treinamento de operadores de penetrômetro

(1) Leituras - Os operadores devem ser treinados em uma área de solos de condições uniformes, ou seja, as mesmas características devem ser encontradas nessa área. O instrutor deve fazer aproximadamente 50 conjuntos de leituras espaçadas igualmente pela área. O IC médio para camadas de 15 cm (6") deve ser computado e usado como padrão ou referência. O instruendo deve ser informado de todas as técnicas corretas de operação e deve praticar a penetração assistido por um instrutor qualificado até se familiarizar com essas técnicas. Então deve fazer cerca de 50 conjuntos de leituras, usando um ajudante para registrá-las. O IC médio obtido pelo instruendo deve então ser comparado com o padrão. Se as leituras do instruendo se desviarem muito, as causas para o desvio devem ser procuradas e corrigidas.

(2) Velocidade de penetração - A velocidade de penetração recomendada é tal que quatro leituras nas profundidades de 15 cm, 30 cm e 45 cm possam ser medidas em 15 segundos numa penetração contínua em um solo plástico. Velocidades de penetração mais vagarosas ou mais rápidas refletirão em valores menores ou maiores, respectivamente, mas as discrepâncias não serão grandes. quanto ao IC. Os efeitos da variação na velocidade de penetração, para o mesmo operador, mesmo experimentados, são insignificantes.

(3) Causas de erros - A possibilidade de imperfeições mecânicas do penetrômetro de cone devem ser investigadas, principalmente se os desvios forem persistentes. Verificar se não está ocorrendo uma das seguintes situações:

(a) a agulha fica colada no mostrador ou escapa de sua haste;

(b) as faces do mostrador estão desencontradas;

(c) as faces do mostrador estão deslocadas em torno da haste, causando uma indicação imprópria do “zero”;

(d) um anel defeituoso ou sobrecarregado; ou,

(e) uma haste do mostrador pode não estar em bom contato com o bloco-suporte do anel dinamométrico quando o instrumento foi calibrado.

e. Cuidados e ajustagem do penetrômetro

(1) Cuidados Gerais - Conservar o penetrômetro livre da poeira e ferrugem, mantendo todas as partes ajustadas e conferindo, freqüentemente. Se necessário, recalibrar o instrumento. Cuidado particular deve também ser tomado para que nenhum grão fique entre a haste do mostrador e o bloco-suporte inferior.

(2). Micrômetro - É um instrumento sensível que deve ser protegido contra água e utilização brusca. Nunca deve ser imerso na água e deve ser enxugado tão logo seja possível após seu uso em tempo chuvoso. Quando transportado por viatura, o micrômetro deve ser embrulhado em papel ou pano, a fim de protegê-lo contra choques.

(3) Ajustagens do Bloco-Suporte - Se um ou ambos os blocos-suportes se soltarem e se movimentarem, devem ser ajustados de modo que fiquem no mesmo alinhamento do anel. Devem, também, ser reapertados e o anel dinamométrico recalibrado. Durante o reconhecimento, a calibragem não é exeqüível, ou seja, todas as leituras feitas no campo com os blocos-suportes fora de posição devem ser anotadas e corrigidas de acordo com a calibragem feita.

(4) Substituição do Cone - O uso excessivo do mesmo cone pode resultar em um arredondamento de sua ponta ou desgaste da base. Se a base do cone tiver tido excessivo uso ou estiver deformada por utilização desgastante, o cone deve ser, necessariamente, substituído.

(5) Recalibragem do Anel Dinamométrico - A calibragem permanecerá válida por toda a vida útil do instrumento, a menos que os blocos-suportes sejam deslocados ou o anel seja severamente sobrecarregado, deformado por um golpe forte ou sujeito a mudanças extremas na temperatura ou outros esforços inusitados. Se o anel necessitar de recalibragem, os seguintes passos devem ser observados:

(a) remover o punho e a haste;

(b) colocar o bloco-suporte inferior do anel sobre uma superfície horizontal lisa;

(c) conferir o alinhamento e fixação do bloco-suporte. Ambos os blocos devem estar no mesmo alinhamento do anel. Um esquadro comum ou de carpinteiro pode ser usado nesta operação. Os parafusos devem ser apertados;

(d) a haste do mostrador deve pressionar firmemente o bloco inferior com curso suficiente do braço disponível para a variação total (aproximadamente 0,25 cm de deflexão) do anel dinamométrico. 0 mostrador pode ser movimentado para cima ou para baixo ajustando as duas porcas no pino rosqueado que segura o micrômetro em posição. Ambas as porcas devem estar apertadas quando na posição final;

(f) colocar o mostrador em “zero” girando sua face, de modo que o “zero” fique sob a agulha;

(g) adicionar carga em incrementos de 4,5 Kg até atingir 68,1 Kg, marcando ou anotando a posição da agulha no mostrador após a adição de cada incremento de carga. Qualquer um dos seguintes métodos de carregamento pode ser usado:

1) pesos mortos podem ser adicionados ao topo do anel. Se um prato for utilizado para segurar os pesos, deve ser considerado na primeira carga de 4,5 Kg;

2) qualquer uma das máquinas de carga comumente usadas em trabalho de laboratório pode ser utilizada para aplicar a carga;

3) o anel pode ser colocado em um conjunto de balanças e os incrementos de carga aplicados por um macaco e medidos com as balanças;

4) remover a carga em frações de 4,5 Kg, anotando a posição da agulha depois da remoção de cada fração;

5) a prova de carga deve ser feita, no mínimo, duas vezes usando a média da posição da agulha para cada incremento como leitura final;

6) pode ocorrer alguma variação na posição da agulha, mas não será significativa;

7) quando os intervalos de carga de 4,5 Kg tiverem sido estabelecidos, poderão ser marcados, no mostrador, as pressões correspondentes a 10, 20,40 etc, até 300 psi. Cada intervalo, no mostrador, poderá ser subdividido em subintervalos, se o operador julgar conveniente. Esta operação deve ser feita separadamente já que os arcos para os diversos intervalos de 4,5 Kg não serão necessariamente iguais.

9-6. EXTRATOR DE SOLO

O extrator de solo tipo êmbolo é usado para extrair amostras de solo para os testes de remoldagem.

a. Uso - Segurar, firmemente, o disco no topo da haste do êmbolo, com uma das mãos, para impedir o movimento vertical do êmbolo e forçar o tubo de amostragem para dentro do solo, com a outra mão. Em solos firmes, freqüentemente, são necessários dois homens para fazer o extrator penetrar no solo. Depois de travar a haste do êmbolo girando o punho serrilhado, balançar o instrumento levemente e o desenterrar. Depositar a amostra diretamente no cilindro de remoldagem. Embora seja possível segurar o disco fixo com uma das mãos, na posição deitado as duas mãos são normalmente necessárias para o extrator penetrar no solo. (Fig 9-4)

b. Cuidados - É essencial manter limpo o interior do tubo de amostragem, o anel do êmbolo e a arruela de couro. Depois de 5 a 25 extrações, dependendo do tipo de solo, emergir o tubo primeiro na água e depois em óleo combustível, acionando o êmbolo para cima e para baixo 5 (cinco) ou 6 (seis) vezes em cada líquido. Limpar o excesso de óleo lubrificante e, após, aplicar óleo fino, de máquina, no tubo. Se o instrumento tornar-se duro e difícil de trabalhar, remover o tubo, desmontar e limpar completamente o êmbolo e lubrificar a arruela de couro. As paredes do tubo e as bordas cortantes são relativamente fracas e, assim, devem ser manuseadas com muito cuidado.

c. Ajustagem - O comprimento efetivo da haste do êmbolo deve ser ajustado de modo a manter a sua face rente às bordas cortantes do tubo quando o seu punho estiver completamente para baixo. Isto é feito soltando o parafuso de retenção no punho, forçando-o para cima ou para baixo, até a posição correta e reapertando o parafuso de retenção.

9-7. TESTE DE REMOLDAGEM

a. Equipamento - O equipamento para o teste de remoldagem consiste em um cilindro de aço de, aproximadamente, 5 cm (2") de diâmetro e 20 cm (8") de comprimento, montado sobre uma base de alumínio; um soquete constituído por um peso de aço de 2,5 lb deslizando em uma haste de aço de 8" com punho e um penetrômetro de cone. O penetrômetro é usado para medir a resistência do solo no cilindro antes e depois da remoldagem. O extrator é usado para obter a amostra do solo e colocá-lo no cilindro de remoldagem.

b. Método para solos de graduação fina - Tirar uma amostra com o extrator, ejetá-la diretamente no cilindro de remoldagem e empurrá-la para o fundo do cilindro com o pé do soquete, medir a resistência com o penetrômetro (haste de alumínio), fazendo as leituras do IC quando a base do cone entrar na superfície da amostra do solo e, em cada polegada sucessiva, até uma profundidade de 10 cm (4"). A seguir, aplicar 100 golpes com o soquete caindo de uma altura de 30 cm e medir a resistência desde a superfície, até a profundidade de 10 cm, em intervalos de 2,5 cm como era feito antes da remoldagem. Às vezes, uma amostra é tão dura que não pode ser penetrada até 10 cm. Em tais casos, a capacidade completa do mostrador (300) é registrada para cada polegada abaixo da última leitura obtida. A soma das leituras dos 5 (cinco) IC depois da remoldagem dividida pela soma das leituras dos 5 (cinco) IC antes da remoldagem, dá o índice de remoldagem, que será utilizado para obtenção do ICC.

ARTIGO III

MÉTODOS E CRITÉRIOS PARA MEDIÇÃO DA TRAFEGABILIDADE

9-8. INTRODUÇÃO

Sempre que possível, deverão ser liberadas patrulhas de reconhecimento para obter medidas de trafegabilidade que permitam a determinação do número e o tipo de viaturas que podem transitar por uma determinada área. Convém ressaltar que os resultados obtidos são válidos apenas para o período em que foram realizados.

9-9. VARIAÇÃO DOS ÍNDICES DE CONE

A variação dos IC entre 30 e 200 na camada crítica é a que causa o máximo interesse. Apenas as viaturas militares com maior grau de mobilidade podem trafegar em solos com um IC inferior a 30, e somente poucas viaturas especiais exigem IC de 200 (antes de aplicação de tráfego). Estes limites normalmente tornam possível classificar extensas áreas com IC, tanto acima quanto abaixo, da variação crítica sem a necessidade de realizar muitos testes.

9-10. DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE MEDIDAS

Para determinar o número de medidas a serem feitas, o operador deve analisar, com bom senso, os seguintes fatores: o tempo disponível, a variação das resistências do solo e a uniformidade geral da área. Poucas leituras são necessárias em uma área com IC acima ou abaixo da variação crítica de 30 a 200. No entanto, se os IC estiverem dentro desta variação crítica ou, mais particularmente, entre aproximadamente 30 e 150, muitas leituras devem ser feitas para assegurar uma cobertura completa e precisa da área. Os instrumentos de medida de trafegabilidade foram projetados para facilitar observações rápidas. A precisão da média de uma série de leituras aumenta com o número de leituras. Tem sido verificado, por exemplo, que em solo brando típico são necessárias cerca de 15 leituras para estabelecer um verdadeiro IC médio, em qualquer ponto particular em uma dada profundidade e que, se as 15 leituras forem feitas dentro de um raio de 1m em uma área de aparência uniforme, o acréscimo de uma outra leitura não mudará a média significativamente. Não havendo tempo disponível para esse grande número de medidas, será necessário reduzi-lo.

a. Índices de Cone acima de 200 - serão suficientes leituras de penetrômetro em muito poucos locais para verificar a extensão da área. Em cada local de teste deverão bastar 2 (dois) conjuntos de perfis de leituras, sendo feitos testes de remoldagem do solo da camada crítica nos primeiros dois ou três locais de testes. Se o IR obtido for maior que 0,8, não há necessidade de executar outro teste de remoldagem. Se o IR for menor que 0,8 - especialmente se for muito menor - deverão ser feito testes em número suficiente para estabelecer a variação na área em estudo. Geralmente, isto pode ser obtido executando testes de remoldagem em cerca de 4 (quatro) locais de teste.

b. Índices de Cone entre 150 e 200 - serão selecionados locais de teste em número suficiente para confirmar os limites da área estabelecidos por inspeção visual. Três ou quatro conjuntos de leituras devem ser feitos em cada local de teste. Testes de remoldagem devem ser feitos nos 2 (dois) ou 3 (três) primeiros locais de teste: se estes mostrarem um IR maior ou igual a 0,9, não é necessário executar outro teste de remoldagem. Se o IR for inferior a 0, 9, e especialmente se for muito abaixo, devem ser feitos testes de remoldagem em número suficiente para estabelecer a variação para a área. Geralmente, isto pode ser obtido com testes em cerca de 6 (seis) locais de teste.

c. Índices de Cone entre 30 e 150 - será necessário um maior número de leituras. As leituras devem ser feitas em muitos locais de teste para estabelecer os limites da área e o IC médio dentro de limites razoavelmente exatos. No mínimo três conjuntos de leituras devem ser feitos em cada local de teste. Testes de remoldagem também devem ser feitos em um número suficiente de locais de teste para estabelecer a variação dos IR. Além disso, se uma pista experimental puder ser selecionada no campo, leituras de penetrômetro e de remoldagem devem ser feitas em intervalos pequenos ao longo dela para localizar quaisquer pontos brandos.

d. Índices de Cone inferiores a 30 - as leituras devem ser limitadas ao número necessário para estabelecer os limites da área não trafegável. Não são necessários testes de remoldagem.

9-11. REGRAS PARA REALIZAÇÃO DO TESTE DE REMOLDAGEM

Desde que a técnica para execução do teste de remoldagem para solos de graduação fina difere um pouco da técnica para areias com finos mal drenadas, o operador deve ser capaz de reconhecer os dois tipos de solo nas condições em que os testes de remoldagem devem ser feitos. Em tais condições, ambos os tipos de solos são úmidos na aparência e no toque. Se comprimidos e rolados entre as pontas dos dedos, o solo fino plástico parecerá suave e liso porque tais partículas de solo são pequenas e achatadas. O outro tipo de solo parecerá abrasivo por causa da presença de partículas maiores e mais arredondadas de areia. No entanto, se não for possível distinguir, com segurança, o tipo de solo, o operador deve executar os dois tipos de testes de remoldagem e comparar os IR obtidos. Se o índice mais baixo for obtido com o teste de remoldagem para areias com finos mal drenadas, pode ser admitido que o solo é uma areia com finos mal drenada, e o teste para este tipo de solo deve ser empregado em toda a área sob investigação. Uma boa regra para seguir, em casos de dúvida é executar ambos os tipos de testes e usar o IR mais baixo.

9-12. OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE CONE CORRIGIDO

a. O ICC é o IC observado sob condições de tráfego e o valor final do IC de uma determinada área.

b. Supondo que o IC = 85 e o IR = 0,80, então o ICC = 85 x 0,80 = 68.

9-13. CAMADA CRÍTICA

A profundidade da camada crítica varia com o perfil da resistência do solo e o tipo e peso das viaturas.

a. Variações com o tipo e peso da viatura - As profundidades normais da camada crítica para viaturas de vários tipos e pesos são as mostradas na Tab 9-1.

b. Perfil Normal de Resistência

(1) Em um solo com um perfil normal de resistência, as leituras do IC aumentam ou permanecem constantes a cada incremento de profundidade. Nos primeiros estágios do reconhecimento de uma área, os IC devem ser medidos em incrementos de 15 cm (6") até a profundidade de 45 cm (18"). Se estas medidas, consistentemente, revelarem que o perfil é normal, então bastam ser registradas as leituras na camada crítica. Para uma viatura de lagartas pesando menos que 100.000 lb (45400 kg) tal como o CC M4, serão registradas as leituras para as profundidades de 15 cm e 30 cm (6" e 12").

(2) Em um perfil normal, os testes de remoldagem serão feitos apenas em profundidade crítica normal para a viatura em estudo por não ser comum um decréscimo no IR com o aumento da profundidade. O ICC para a camada critica é usado como o critério de trafegabilidade para esta viatura específica.

Tipo de Viatura	Profundidade de camada crítica normal (cm)
Vtr de assalto anfíbias	7,5 a 22,5
Vtr de rodas, até 22.700 kg	15 a 30
Vtr de lagartas até 45.400 kg	
Vtr de rodas acima de 22.700 kg	22,5 a 37,5
Vtr de lagartas acima de 45.400 kg	

Tab 9-1. Perfil normal de resistência

c. Perfil Anormal de Resistência - Em um perfil anormal de resistência, pelo menos uma leitura do IC é mais baixa do que a leitura imediatamente precedente. Quando tiver sido estabelecido que existe um perfil anormal de resistência, as leituras do IC devem ser feitas e registradas em incrementos de 15 cm do topo da camada crítica normal (profundidade de 15 cm para o CC M41) até 15 cm abaixo do fundo da camada crítica normal (45 cm para o CC M41). Os testes de remoldagem devem ser feitos em amostras tiradas da camada crítica normal e também da camada de 15 cm abaixo. O IC Corrigido mais baixo é usado como a medida da trafegabilidade.

d. Valores Interpolados - Valores intermediários para as profundidades de 7,5 cm, 22,5 cm e 37,5 cm podem ser interpolados sempre que os tipos de viaturas em estudo o exigirem.

e. Exemplo Nr 1

(1) Enunciado - Investigar o solo das áreas "A" e "B" quanto à trafegabilidade de viaturas que são de tais tipos e pesos que a camada crítica normal encontra-se na profundidade de 15 a 30 cm.

(2) Solução

(a) Como a área "A" apresenta um perfil normal, apenas um teste de remoldagem foi feito para a camada de 15 a 30 cm.

Área "A"	Profundidade (cm)	IC	Índice de Remoldagem (IR)
(Perfil Normal)	Superfície 15 30 45 60	30 50 70 80 90	0,90 (15 a 30 cm)

IR = 0,90
IC = (50 + 70)/2 = 60
ICC = 60 x 0,90 = 54
Para a área A => ICC = 54

(b) Como a área "B" apresenta um perfil anormal, foram executados testes de remoldagem para as camadas de 15 a 30 cm e de 30 a 45 cm.

Área "B"	Profundidade (cm)	IC	Índice de Remoldagem
(Perfil Anormal)	Superfície 15 30 45 60	30 75 45 35 50	0,90 (15 a 30 cm) 0,90 (30 a 45 cm)

1) Para a camada de 15 a 30 cm:
IR = 0,90
IC = (75 + 45)/2 = 60
ICC = 60 x 0,90 = 54

2) Para a camada de 30 a 45 cm:
IR = 0,90
IC = (45 + 35)/2
ICC = 40 x 0,90 = 36

3) Para a área B => ICC = 36 (o menor dos 2)

(c) Resumo

ÁREA	ICC
A	54
B	36

9-14. OUTROS FATORES

Na avaliação da trafegabilidade de uma área, devem ser considerados, além do IC, outros fatores, tais como:

a. Rampa - A rampa mais íngreme ou o greide preponderante a ser transposto deve ser medido, ou pode ser determinado no estudo de uma carta topográfica. Para trafegar em rampas, as necessidades de IC devem ser aumentadas em relação àquelas exigidas para terrenos planos.

b. Adesividade

(1) Não há instrumento para medir os seus efeitos no comportamento das viaturas. A adesividade ocorrerá em todos os solos finos quando estiverem relativamente úmidos. Quanto maior a plasticidade do solo, mais severos os efeitos. Em geral, terá efeitos adversos na velocidade e dificultará o tráfego e pilotagem de todas as viaturas, mas por si só não causará a imobilização de qualquer viatura, exceto das menores viaturas de lagartas.

(2) Mesmo as piores condições de adesividade não são mais do que um incômodo para as maiores e poderosas viaturas militares. A remoção de pára-lamas reduzirá os efeitos da adesividade em algumas viaturas.

c. Deslizância

(1) Como a adesividade, os efeitos da deslizância não podem ser medidos quantitativamente. Os solos cobertos com água ou com uma camada de solo plástico brando, normalmente, são escorregadios e, freqüentemente, causam dificuldade de direção, especialmente para viaturas de rodas. A imobilização pode ocorrer em muitos casos.

(2) As imobilizações ocorrem, freqüentemente, quando a deslizância está associada com baixa capacidade de carga. Os efeitos da deslizância assumem maior significado em rampas: algumas vezes, rampas com resistência de solo adequada podem não ser transpostas por causa da deslizância. O uso de correntes nas viaturas de rodas é muito eficiente para resolver, de imediato, o problema.

d. Vegetação - O capim espesso, especialmente se úmido pelo orvalho ou chuva, pode ocasionar deslizância. As necessidades em resistência de solo serão maiores que as normais se a viatura tiver que derrubar pequenas árvores ou matagal espesso.

e. Matéria orgânica vegetal - Muitos terrenos nas latitudes norte são cobertos por uma camada de raízes misturadas, musgos e outras vegetações em vários estados de decomposição. Testes limitados tem mostrado que, se a espessura da vegetação parcialmente deteriorada, é 15 cm ou mais, suportará 40 a 50 passadas de viaturas de lagartas muito leves, com IC menor que 30, mas, normalmente, só permitirá 2 (duas) ou 3 (três) passadas de uma viatura mais pesada. O penetrômetro de cone e o teste de remoldagem não podem ser aplicados para medir a trafegabilidade em tais áreas.

f. Outros obstáculos - Uma completa determinação da trafegabilidade de uma dada área deve incluir uma avaliação de obstáculos tais como florestas, rios, campos de seixos rolados, fossos, cercas vivas e outros.

ÍNDICE ALFABÉTICO

	Prf	Pag
A		
Análise granulométrica dos solos	4-8	4-7
Aspectos básicos da trafegabilidade	9-3	9-2
B		
Bueiros de greide	5-11	5-11
C		
Caixas coletoras	5-10	5-10
Camada crítica	9-13	9-12
Capacidade das vias de transporte	2-2	2-2
Carregadeiras		
- de esteiras	6-14	6-20
- de rodas	6-15	6-21
Categorias	6-4	6-3
Classificação		
- dos bueiros	5-23	5-25
- dos solos	4-9	4-8
- dos trabalhos em estradas	3-1	3-1
Colchão drenante	5-19	5-21
Composição dos solos	4-4	4-3
Consolidação dos terrenos de fundação dos aterros	6-6	6-3
Construção de estradas de serviço e obras-de-arte provisórias	6-5	6-3
Controle da compactação no campo	4-11	4-9
Controle topográfico		
- da execução dos aterros	8-2	8-1
- da execução dos cortes	7-2	7-2
Corta-rios	5-14	5-13

	Prf	Pag
D		
Definição de drenagem	5-2	5-1
Definições básicas		
- (Estradas - Conceitos Gerais)	2-1	2-1
- Trafegabilidade dos Solos	9-2	9-1
Descidas d´água	5-8	5-8
Deslocamento do material instável	8-5	8-5
Determinação		
- da umidade pelo método expedito “speedy”	4-7	4-5
- do número de medidas	9-10	9-11
- do teor de umidade	4-6	4-4
Dissipadores de energia	5-12	5-12
Drenos		
- espinha de peixe	5-18	5-20
- horizontais profundos	5-20	5-22
- profundos	5-17	5-15
E		
Elementos de projeto	5-25	5-28
Empréstimo e “bota-fora”	7-5	7-6
Ensaios	4-5	4-3
Equipamento(s)		
- para teste da trafegabilidade dos solos	9-4	9-3
- empregados na limpeza	6-10	6-6
Escalonamento de taludes	5-13	5-12
Escavação		
- de materiais de 1ª categoria	7-4	7-4
- de materiais de 2ª categoria	7-6	7-6
- de solos brejosos e turfosos	7-7	7-6
Escavadeiras de acionamento hidráulico	6-13	6-18
Estabilidade dos aterros	8-3	8-3
Execução e compactação dos aterros	8-7	8-7
Exigências de projeto	5-16	5-15
Extrator de solo	9-6	9-9
F		
Fatores que influem nas operações de limpeza	6-9	6-4
Finalidade		
- Drenagem Subterrânea ou Profunda	5-15	5-14
- Drenagem superficial	5-3	5-2
- (Introdução)	1-2	1-2

	Prf	Pag
G		
Generalidades		
- (Introdução)	1-1	1-1
- (Terraplanagem)	6-1	6-1
- (Trabalho de Construção das Estradas)	4-1	4-1
- (Trafegabilidade dos solos)	9-1	9-1
I		
Introdução		
- Compactação de Solos	4-10	4-9
- Drenagem de Transposição de Talvegues (Bueiros)	5-22	5-24
- (Drenagem)	5-1	5-1
- Métodos e Critérios para Medição da Trafegabilidade	9-8	9-10
- Solos	4-2	4-2
L		
Limpeza da faixa, desmatamento e destocamento	6-8	6-4
Locação topográfica		
- Execução da Terraplanagem	6-7	6-4
- dos aterros	8-1	8-1
- dos cortes	7-1	7-1
Localização dos bueiros	5-24	5-25
N		
Natureza dos solos	4-3	4-2
O		
Objetivo	1-3	1-2
Obtenção do índice de cone corrigido	9-12	9-12
Operações básicas da terraplanagem	6-2	6-1
Outros fatores	9-14	9-14
P		
Penetrômetro de cone	9-5	9-5
Procedimentos		
- para a conservação	3-3	3-2
- para a reparação	3-5	3-8
Processo prático de controle do ângulo de talude	7-3	7-4
R		
Regras para realização do teste de remoldagem	9-11	9-12
Remoção do solo de má qualidade e substituição por material de melhores características	8-4	8-5
Responsabilidades	1-4	1-2

	Prf	Pag
S		
Saídas d´água (ou entradas d´água)	5-9	5-9
Sarjetas		
- de aterro	5-7	5-7
- de corte	5-6	5-5
T		
Terminologia de rochas	6-3	6-2
Teste de remoldagem	9-7	9-10
Trabalhos		
- de conservação	3-2	3-1
- de melhoramentos	3-6	3-13
- de reparação	3-4	3-8
Trator de esteiras com lâmina	6-11	6-10
U		
Unidades		
- aplainadoras	6-16	6-21
- escavo-transportadoras	6-12	6-13
Utilização de bermas de equilíbrio	8-6	8-6
V		
Valetas		
- de proteção de aterro	5-5	5-4
- de proteção de corte	5-4	5-2
Valetões laterais	5-21	5-23
Variação dos índices de cone	9-9	9-10

DISTRIBUIÇÃO

1. ÓRGÃOS

Ministério da Defesa	01
Gabinete do Comandante do Exército	01
Estado-Maior do Exército	15
DGP, DEP, DMB, DEC, SEF, SCT, STI, D Log	01
DEE, DFA, DEPA	01
DOM, DOC	01
C Com SEx	01
CAEx	01

2. GRANDES COMANDOS E GRANDES UNIDADES

COTer	03
Comando Militar de Área	01
Cmdo de Área/DE	01
RM/DE	01
Divisão de Exército	01
Brigada	01
Grupamento de Engenharia	01

3. UNIDADES

Engenharia	04
Forças Especiais	01

4. SUBUNIDADES (autônomas ou semi-autônomas)

Engenharia 02

5. ESTABELECIMENTOS DE ENSINO

ECEME 50
EsAO 50
AMAN 10
EsSA 05
CPOR ENG 01
NPOR / 4º BE CMB e 5º BE CMB 01
EsIE, EsMB, EASA 01

6. OUTRAS ORGANIZAÇÕES

ADIEx/Paraguai 01
Arq Ex 01
Bibliex 01
C Doc Ex 01
C F N 01
EAO (FAB) 01
ECEMAR 01
Es G N 01
E M Aer 01
E M A 01

Este Manual foi elaborado com base em anteprojeto apresentado pela Academia Militar das Agulhas Negras. (AMAN)